



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

FACULTAD DE MECÁNICA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
UN SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR
AUTOMATIZADO PARA COLECTORES
SOLARES Y CALEFONES EN EL USO
RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA”**

PEÑAFIEL SARAGURO JUAN CARLOS

SILVA MANZANO CÉSAR HUGO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Noviembre, 21 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

PEÑAFIEL SARAGURO JUAN CARLOS

Titulada:

**“ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA
AUXILIAR AUTOMATIZADO PARA COLECTORES SOLARES Y
CALEFONES EN EL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Gilberto Zabala Navarrete
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

Noviembre, 21 de 2012

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

SILVA MANZANO CÉSAR HUGO

Titulada:

**“ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ENERGÍA
AUXILIAR AUTOMATIZADO PARA COLECTORES SOLARES Y
CALEFONES EN EL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE ENERGÍA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Jorge Lema
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Gilberto Zabala Navarrete
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: PEÑAFIEL SARAGURO JUAN CARLOS

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
UN SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR
AUTOMATIZADO PARA COLECTORES
SOLARES Y CALEFONES EN EL USO RACIONAL
Y EFICIENTE DE ENERGÍA”

Fecha de Examinación: 21 de Noviembre de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Jorge Lema (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Gilberto Zabala (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: SILVA MANZANO CÉSAR HUGO

TÍTULO DE LA TESIS: “ANÁLISIS, DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE
UN SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR
AUTOMATIZADO PARA COLECTORES
SOLARES Y CALEFONES EN EL USO RACIONAL
Y EFICIENTE DE ENERGÍA”

Fecha de Examinación: 21 de Noviembre de 2012.

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Telmo Moreno (PRESIDENTE TRIB. DEFENSA)			
Ing. Jorge Lema (DIRECTOR DE TESIS)			
Ing. Gilberto Zabala (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

f) Presidente del Tribunal

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece ala Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

f) Peñafiel Saraguro Juan Carlos

f) Silva Manzano César Hugo

DEDICATORIA

A Dios por su incondicional amor por enseñarme que el verdadero éxito radica en poder servir a los demás y que no hay ecuación más perfecta que el amor.

A mi esposa por ser la flor en el desierto y enseñarme que una sola cuerda se rompe fácilmente pero dos cuerdas juntas son más difíciles de romper.

A mis padres y hermanos por mostrarme cada día su amor y fortaleza y enseñarme que si es posible alcanzar grandes cosas con amor.

A la familia de mi esposa gracias porque a pesar de estar lejos de casa nunca me sentí fuera de ella por su amor y comprensión.

Juan Carlos Peñafiel Saraguro

A DIOS por ser el que siempre guía mi camino, a mi familia especialmente a mis padres, ellos quienes al ser mis primeros amigos y maestros demostraron su apoyo incondicional e inculcaron valores de sentimientos, confianza y seguridad.

A mis amigos/as y todas las personas que de alguna manera me apoyaron en esta etapa difícil además de hermosa y apasionante.

César Hugo Silva Manzano

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a la ESPOCH, a la Escuela de Ing. Mecánica y todos quienes la conforman por habernos formado íntegramente, ellos quienes buscando siempre el bienestar del estudiante, nos brindaron su apoyo y guiaron para lograr la culminación de una mas de las etapas de nuestra vida.

Juan Carlos Peñafiel Saraguro

César Hugo Silva Manzano

CONTENIDO

	Pág.
1. ANTECEDENTES	
1.1 Generalidades.....	27
1.2 Situación del problema	28
1.3 Justificación	29
1.4 Objetivos.....	29
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	29
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	30
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Introducción	31
2.2 Energía solar	32
2.2.1 <i>Radiación</i>	34
2.2.1.1 <i>Tipos de radiación solar</i>	35
2.2.1.2. <i>Irradiación</i>	35
2.2.1.3 <i>Insolación</i>	36
2.3 Eficiencia energética.....	37
2.3.1 <i>Eficiencia energética en edificaciones a nivel mundial</i>	40
2.3.2 <i>Crecimiento de la población</i>	41
2.3.3 <i>Panorámica de la matriz de la energía en el Ecuador</i>	42
2.3.4 <i>Eficiencia de las instalaciones activas en sector residencial en Ecuador</i>	47
2.3.4.1 <i>Instalaciones activas</i>	47
2.3.5 <i>Energías renovables</i>	48
2.3.6 <i>Tendencias en tecnologías de fuentes de energía renovable en Ecuador</i>	50

2.3.7 Viabilidad estratégica del aprovechamiento de energía solar en Ecuador	51
2.4 Desarrollo energético sustentable	51
2.4.1 El protocolo de Kioto.....	52
2.4.2 Desarrollo energético sostenible	53
2.5 Sistemas para el calentamiento de agua para uso doméstico en Ecuador.....	55
2.5.1 Condiciones de vivienda en el Ecuador.....	55
2.5.2 Análisis de sistemas independientes en Ecuador.....	56
2.5.3 Análisis sistema eléctrico.....	57
2.5.4 Usos finales de energía.....	59
2.5.5 Energía eléctrica en Riobamba	61
2.5.6 Análisis del sistema a GLP en Ecuador.....	63
2.5.7 Evaluación de sistemas empleados en Ecuador para calentamiento de agua	65
2.6 Reglamento para la implementación de colectores solares	65
2.7 Colectores solares	67
2.7.1 Energía solar térmica	67
2.7.2 Análisis de sistemas por colectores solares.....	69
2.8 Tipos de colectores solares	69
2.8.1 Colectores de tubos de vacío	71
2.9 Principios de funcionamiento de colectores solares	72
2.9.1 Descripción general de componentes	74
2.10 Características de colectores solares.....	76
2.10.1 Colectores solares por circulación natural	76
2.10.2 Colectores solares por circulación forzada.....	77
2.11 Rendimiento térmico en los colectores solares.....	78
2.11.1 Tabla comparativa de varios paneles solares	79
2.12 Eficiencia en un colector solar.....	79
2.12.1 Eficiencia de diferentes tipos de colectores.....	81

2.13 Calefones	81
2.13.1 Estructura y partes.....	82
2.14 Tipos de calefones	83
2.14.1 De acuerdo a la cámara de combustión	83
2.14.2 De acuerdo a sus potencias	83
2.15 Principios de funcionamiento de calefones	83
2.16 Comparación de rendimiento y eficiencia energética.....	85
2.17 Sistemas auxiliares para colectores solares	85
2.18 Kit solar auxiliar para colectores solares	87
2.18.1 Especificaciones técnicas y dimensionales	88
2.18.2 Estructura y partes.....	89
2.18.3 Conformado de entradas y salidas de agua.....	90
2.18.4 Ventajas	90
2.18.5 Principios de funcionamiento de un kit auxiliar para colectores solares	91

3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR AUTOMATIZADO PARA COLECTORES SOLARES Y CALEFONES

3.1 Variables de dimensionamiento del proyecto	92
3.1.1 El proyecto	92
3.1.2 Localización del proyecto	92
3.1.3 Recursos energéticos disponibles	93
3.1.3.1 Recurso energético solar	93
3.1.3.2 Recurso energético GLP en Ecuador	96
3.1.4 Demanda energética	97
3.1.4.1 Consumos de ACS según usos	98
3.1.4.2 Necesidades medias mensuales	99

3.1.4.3 <i>Cálculo de la demanda energética de ACS</i>	100
3.1.4.4 <i>Caudal diario de ACS</i>	101
3.2 <i>Energía solar disponible en Riobamba</i>	103
3.2.1 <i>Potencial solar local</i>	106
3.3 <i>Variables físicas locales</i>	107
3.3.1 <i>Temperatura ambiental</i>	107
3.3.2 <i>Humedad relativa del aire</i>	108
3.3.3 <i>Emisión solar diaria</i>	109
3.4 <i>Selección de equipos y elementos</i>	111
3.4.1 <i>Sistema de calentamiento de agua por calefón</i>	112
3.4.1.1 <i>Materiales para la instalación de gas</i>	112
3.4.1.2 <i>Componentes de la instalación</i>	113
3.4.2 <i>Sistema de calentamiento de agua por colector solar</i>	115
3.4.2.1 <i>Materiales para la instalación</i>	117
3.5 <i>Dimensionamiento del proyecto</i>	128

4. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA

4.1 <i>Generalidades</i>	130
4.1.1 <i>Tipos de sistemas de control</i>	131
4.1.2 <i>Características de un sistema de control</i>	132
4.2 <i>Alternativas</i>	133
4.2.1 <i>Sistema eléctrico</i>	133
4.2.1.1 <i>Panel de control</i>	133
4.2.1.2 <i>Electroválvula</i>	135
4.2.1.3 <i>Sensor de nivel</i>	137
4.2.2 <i>Sistema a gas</i>	138

4.3 Elementos principales del sistema de control (MDA)	139
4.3.1 Sistema eléctrico	139
4.3.2 Sistema a gas (KIT SOLAR).....	139
4.4 Funcionamiento	139
4.4.1 Elementos básicos	140
4.4.2 Sistema eléctrico	140
4.4.3 Sistema a gas (KIT SOLAR).....	141

5. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CALENTAMIENTO DEL AGUA

5.1 Parámetros de diseño del sistema	143
5.1.1 Parámetros atmosféricos	143
5.1.2 Parámetros del sistema.....	143
5.2 Indicadores técnicos (calor útil, calor total, pérdidas de energía, eficiencia)	143
5.2.1 Calefón.....	144
5.2.1.1 Calor total (calor generado).....	144
5.2.1.2 Calor útil (calor absorbido)	145
5.2.1.3 Pérdidas de energía	146
5.2.1.4 Eficiencia	146
5.2.1.5 Emisiones de CO ₂ a la atmósfera	147
5.2.2 Colector solar	147
5.2.2.1 Calor total.....	147
5.2.2.2 Pérdidas de energía por la disposición geométrica de los colectores	148
5.2.2.3 Calor útil (Q_u)	152
5.2.2.4 Eficiencia (η).....	152
5.3 Análisis de sistemas mixtos para calentamiento de agua	153

5.4 Esquema del sistema de calentamiento de agua	155
5.5 Instalación del sistema	156
5.6 Pruebas de funcionamiento.	165
5.6.1 <i>Pruebas eléctricas</i>	165
5.6.2 <i>Pruebas del colector solar</i>	168
5.6.3 <i>Pruebas del calefón</i>	169
5.6.4 <i>Pruebas del sistema auxiliar automatizado</i>	170
5.6.4.1 <i>Prueba 1</i>	170
5.6.4.2 <i>Prueba 2</i>	174
5.7 Emisiones de CO ₂ a la atmósfera por el sistema auxiliar	181

6. ESTUDIO DE COSTOS Y RENTABILIDAD

6.1 Generalidades.....	182
6.2 Costo permanente	183
6.2.1 <i>Mantenimiento</i>	183
6.2.2 <i>Energía eléctrica total utilizada</i>	183
6.3 Costos directos	184
6.4 Costos indirectos.....	187
6.5 Costos totales del proyecto	187
6.6 Periodo de amortización	187
6.7 Rentabilidad del proyecto	195
6.8 Estudio del mercado potencial	196
6.8.1 <i>Alcance</i>	196
6.8.2 <i>Proyección de mercado</i>	196
6.8.3 <i>Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico</i>	198
6.8.4 <i>Resultado de indicadores en Ecuador</i>	199

7. MANUAL DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones.....	210
8.2 Recomendaciones	211

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA

LINKOGRAFIA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

1	Distribución de la longitud de onda para la radiación electromagnética	34
2	Aporte de fuentes renovables de acuerdo al uso.....	48
3	Clientes finales a diciembre de 2010	59
4	Datos generales EERSA	61
5	Consumos kw-h/día	63
6	Comparación de paneles solares.	79
7	Especificaciones técnicas y dimensionales del kit solar.	88
8	Zonas del ecuador según irradiación solar.....	95
9	Valores promedio de irradiación solar de ciertas zonas del Ecuador.	95
10	Valores de demanda de ACS.	98
11	Consumo ACS según usos.	99
12	Recomendaciones de consumo según algunas fuentes.	99
13	Datos de referencia del proyecto.	100
14	Temperatura del agua de la red.....	100
15	Datos meteorológicos.	102
16	Calculo de la demanda ACS.	102
17	Insolación promedio 10 años en kw-h/m ² día.....	104
18	Datos de la radiación media anual en los años 2007-2010.....	105
19	Zonas de irradiación solar del ecuador.	105
20	Temperatura del aire 2011 en la ciudad de Riobamba – Ecuador.	107
21	Datos de humedad del 2011 de la ciudad de Riobamba–Ecuador.....	108
22	Datos de heliofania 2011.	110
23	Calefones potencia vs. temperatura de salida.	114
24	Características técnicas del colector solar.	117
25	Presiones y temperaturas admisibles a 50 años	118
26	Relación de conductividades térmicas	118
27	Selección de tuberías para agua sin aditivos.....	121
28	Pérdida de carga en elementos del circuito.....	126
29	Cálculo del calor generado con GLP.	145
30	Cálculo del calor absorbido en el día, mes y año.....	146

31	Pérdidas límites.....	148
32	Participación en el consumo residencial en la ciudad de Riobamba.	165
33	Consumo mensual de duchas para el calentamiento de agua	166
34	Potencia vs. tiempo en duchas.	167
35	Datos de temperatura del agua en el acumulador.	168
36	Consumo de cilindros vs. calor absorbido.	169
37	Tiempo de encendido del calefón en condiciones normales.....	171
38	Comportamiento del kit solar.	172
39	Evaluación del kit solar bajo condiciones de funcionamiento críticas.	172
40	Parámetros de evaluación del sistema solar propuesto.	174
41	Datos meteorológicos de la ciudad de Riobamba.	176
42	Significados de las columnas de los datos.	177
43	Comparación de días vs. temperatura ambiente.	178
44	Análisis de temperatura del agua vs demanda de consumo.	178
45	Datos para determinar el aporte del sistema auxiliar diario.....	179
46	Aporte mensual.	180
47	Resultados totales de pruebas del sistema propuesto.....	181
48	Costos equipos y materiales.....	184
49	Costos mano de obra.....	186
50	Costos transporte.....	186
51	Costos herramientas.	186
52	Total costos directos.	186
53	Total costos indirectos.	187
54	Costos totales, necesarios.	187
55	Beneficio anual acumulado.....	193
56	Beneficio anual acumulado.....	194
57	Resolución de problemas.	209

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Energía solar	32
2	Energías renovables	33
3	Componentes de la radiación electromagnética.....	34
4	La radiación solar.....	35
5	Espectro de radiación solar.	36
6	Curva de irradiación diaria y horas solares pico.....	37
7	Eficiencia y desarrollo sostenible.	38
8	Evolución del uso mundial de energía primaria.	40
9	Evolución de la oferta de energía primaria total mundial por fuentes.....	41
10	Consumo de energía mundial por sectores.	41
11	Crecimiento de la población a nivel mundial.	42
12	Demanda de energía primaria total de Ecuador por fuentes.....	43
13	Demanda de energía primaria total del Ecuador por sector.....	44
14	Matriz energética del Ecuador demanda vs oferta.....	44
15	Taza de crecimiento energético vs tiempo.....	45
16	Taza de crecimiento poblacional en Ecuador.	45
17	Alternativas para la producción de energía.....	48
18	Potencial de ER en el mundo.....	48
19	Perspectiva internacional.	53
20	Modelo de energía sostenible.	54
21	Pilares del desarrollo energético sustentable.	54
22	Tipos de vivienda en el Ecuador.....	55
23	ACS en los hogares Ecuatorianos.....	56
24	Uso de artefactos para calentamiento de agua.	56
25	Composición del consumo porcentual de energía eléctrica en el 2011.	57
26	Composición del consumo total de energía eléctrica Gw-h en el 2011.....	57
27	Consumo nacional por áreas de concesión Gw-h 2011.	58
28	Costos finales de la empresa de distribución, periodo 2000 – 2010.....	58
29	Usos finales región sierra.....	59

30	Usos finales region costa.	60
31	Demanda electrica sector residencial.	60
32	Curva de carga.	61
33	Usos finales de la energía en un día laborable.	62
34	Usos finales de la energía en un día laborable.	63
35	Porcentaje de beneficiarios del subsidio a gas en Ecuador.	64
36	Consumo de tanques de gas por sector socio económico mensual.	64
37	Sistemas termodinámicos de aprovechamiento de la energía solar.	68
38	Aprovechamiento energía solar.	69
39	Clasificación según rango de temperaturas.	70
40	Colector solar de tubos al vacío de flujo directo.	72
41	Esquematización del efecto invernadero.	73
42	Sistema para calentamiento de agua de uso residencial.	73
43	Componentes de un SST de termosifón de placa plana.	75
44	Esquema de la circulación natural.	76
45	Sistema de circulación forzada.	77
46	Curva característica de eficiencia (referida al área de absorción).	79
47	Curva característica de eficiencia (referida al área total).	80
48	Eficiencia de varios colectores solares.	81
49	Calefón domestico.	82
50	Calefón estructura.	82
51	Panel de control calefón.	84
52	Esquema detallado del kit solar.	89
53	Entradas y salidas de agua del kit solar.	90
54	Movimiento aparente del sol sobre el firmamento.	94
55	Importaciones de derivados por producto.	97
56	Etapas para una instalación de calentamiento solar.	98
57	Porcentaje de la demanda de agua en función de los meses de trabajo.	103
58	Radiación solar vs años.	105
59	Porcentaje de temperatura del aire vs meses del año.	107
60	Humedad relativa vs. meses del año.	109
61	Grafica heliofania vs. meses del año.	111
62	Tanque de gas.	115

63	Tubería hidro 3.....	118
64	Capas de la tubería.	119
65	Denominación de tuberías h3.	122
66	Válvula de bola.	123
67	Sección de una válvula anti retorno para líquidos.	123
68	Diagrama de Moody.	126
69	Bomba de circulación wilo star.	127
70	Curva característica de la bomba de circulación wilo star.....	127
71	Sistema mixto colector más calefón.	129
72	Componentes básicos de un sistema de control.....	131
73	Elementos de un sistema de control a lazo abierto.	131
74	Sistema de control a lazo cerrado.	132
75	Panel de control.	134
76	Electroválvula.	135
77	Detalle electroválvula.	136
78	Sensor de nivel.....	137
79	Cabeza del sensor con rosca.	138
80	Detalle del kit solar.	138
81	Representación de un diagrama de lazo cerrado.....	139
82	Sistema eléctrico de control de lazo cerrado.	140
83	Sistema eléctrico controlador de nivel.....	141
84	Sistema a gas de control de lazo cerrado.	141
85	Funcionamiento interno del kit solar.	142
86	Ángulo de azimut.....	149
87	Pérdidas en los colectores.	149
88	Esquema.....	155
89	Hospital de 5 plantas.....	156
90	Fijacion de la estructura al tanque.	157
91	Estructura completa.	157
92	Esquema de instalacion.....	158
93	Circuito primario.....	159
94	Circuito secundario	160
95	Fijacion kit solar.	160

96	Kit solar + bomba de recirculacion.....	161
97	Kit solar + calefón.....	161
98	Kit solar + agua de red y ACS.	162
99	Kit solar + automático.....	162
100	Sistema de control eléctrico	163
101	Sistema mixto automatizado.	164
102	Usos finales de la energía en la ciudad de Riobamba.....	165
103	Valores de uso de artefactos para ACS.....	166
104	Potencia vs tiempo en duchas.	167
105	Temperatura del agua en el termotanque acumulador del colector solar. ...	168
106	Comportamiento de la gradiente de temperatura del agua en el colector	169
107	Pruebas de funcionamiento caso 1.....	170
108	Comportamiento de encendido del calefón vs tiempo.....	171
109	Evaluacion del kit solar primer ciclo.	173
110	Evaluacion del segundo ciclo de trabajo.....	173
111	Aporte del sistema auxiliar vs el aporte sistema principal.....	174
112	Estudio de funcionamiento caso 2.	175
113	Temperatura mínimas absolutas vs días.	177
114	Temperatura vs número de medidas.	179
115	Aporte del sistema auxiliar vs aporte sistema primario.	179
116	Resultados finales del sistema de calentamiento global.	180
117	Evolución del VAN para el sistema a gas.....	193
118	Evolución del VAN para el sistema eléctrico.....	194
119	Población total y tasa de crecimiento (1950 - 2010).	197
120	Tasa de crecimiento poblacional (2012 - 2050).....	197
121	Porcentaje de viviendas y tipo de estructura en Ecuador.....	198
122	Clasificación socioeconómica de Ecuador.	198

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN	UNIDADES
AC	Área de captación solar	m ²
ρ_{H_2O}	Densidad del agua	kg/m ³
η	Eficiencia del colector solar	Adimensional
T _{ACS}	Temperatura del agua caliente sanitaria	°C
T _e	Temperatura de entrada del fluido al colector	°C
T _{red}	Temperatura del agua fría de la red	°C
T _a	Temperatura ambiente	°C
V	Volumen de acumulación	litros
m _{cons}	Caudal másico de consumo.	litros/min
cp _l	Calor específico del fluido	kJ/kg.K
e	Espesor	cm
R	Resistencia térmica	°K/w ó °C/w
Q _t	Calor total	w/m ²
Q _u	Calor útil	w/m ²
Q _c	Calor generado	MJ/h
Q _a	Calor absorbido	Btu

LISTA DE ABREVIACIONES

ACS	Agua Caliente Sanitaria
AIE	Agencia Internacional de Energía
CENACE	Centro Nacional de Control de Energía
CEPAL	Comision Economica para America Latina
CONELEC	Consejo Nacional de Electrificacion
CNUMAD	Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo
CTE	CodigoTecnico de la Edificacion
EERSA	Empresa Eléctrica Riobamba S.A.
GLP	Gas Licuado de Petroleo
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalizacion
MEER	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable
NREL	National Renewable Energy Laboratory
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción
OLADE	Organización Latinoamericana de Energía
PIB	Producto Interno Bruto
SCS	Sistema de Calentamiento Solar
SST	Sistema Solar Térmico
TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
WEC	Consejo Mundial de Energía

LISTA DE ANEXOS

- A** Valor porcentual de irradiación global anual en una superficie inclinada
- B** Irradiación solar mensual y promedio para varios sitios del Ecuador
- C** Mapa de Ecuador según irradiación
- D** Estadísticas metereológicas del INAMHI

RESUMEN

Se estima que en Ecuador existen 1 800 000 duchas y 400 000 calefones destinados para el calentamiento de agua sanitaria con una tasa de crecimiento del 50 % anual, en el caso del GLP es un combustible subvencionado por el Estado Ecuatoriano con fines de cocción, el cual es subsidiado aproximadamente 0,69 céntimos de dólar por kilogramo.

La presente tesis se centra en el estudio de factibilidad y verificación de un sistema de ACS que integre tanto las energías renovables como la energía solar con un colector solar como sistema principal de aporte de energía y las energías no renovables con el uso del calefón por GLP como sistema auxiliar de aporte a través de una válvula termostática

Entre las ventajas obtenidas se logra: un sistema más estable, con menor impacto ambiental, automatizado, así como una temperatura constante de 45⁰C a la salida del mismo entre otras prestaciones.

Es así que luego de su experimentación los resultados obtenidos muestran un 90,92% de aporte de la energía solar para el calentamiento de agua y un 9,08% de aporte del sistema auxiliar en este caso el calefón, reduciendo considerablemente el consumo de gas de 1,4 cilindros de consumo al mes a un ahorro de 1,273 cilindros mensuales y una reducción en las emisiones de CO₂, la cual esta enmarca dentro del concepto de desarrollo sostenible que se define como aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras de satisfacer las suyas.

ABSTRACT

It is thought that in Ecuador there are 1 800 000 showers and 400000 water heaters destined for domestic hot watering, with a growth rate of 50% per year, in the case of the GLP it is fuel subsidized by the Ecuadorian Government for cooking purposes. The approximate allowance is 0,69 cents per Kilogram.

This thesis focuses on the feasibility study and verification of an ACS system which integrates both renewable and solar collector systems energy as main contributor of nonrenewable energy and the use of the water heater by GLP as auxiliary input system through a thermostatic valve.

Among the advantages obtained is achieved a more stable system with less environmental impact, as well as automated and constant temperature of 45⁰C at its output among other benefits

After the experimental, results show a contribution of 90,92% of solar energy for water heating and 9,08% of auxiliary input system; in this case water heater greatly reduces gas consumption of 1,4 cylinder consumes per month, a savings of 1,273 cylinders per month and reduced CO₂, which is part of the concept of sustainable defined as one that meets the needs of present geneations without compromising their future ability.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1 Generalidades

En el creciente interés mundial que existe por las llamadas energías renovables, y en concreto por la solar, la ESPOCH ha sido una de las pioneras en la ejecución de trabajos energéticos en base a esta energía lo cual la sitúan junto con la ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA en la vanguardia a nivel nacional.

Es predecible que las fuentes energéticas basadas en petróleo, gas natural y carbón se agoten en un futuro próximo. Ni aún la estimación más optimista de reservas adicionales justifica un consumo ilimitado. El calentamiento del agua a partir de sistemas solares térmicos es una de las aplicaciones que más se está extendiendo a nivel mundial, ya que une el ahorro energético y el respeto al medio ambiente para cubrir necesidades existentes, latentes y de mejoras de confort y bienestar. Se pueden aplicar a todo tipo de inmuebles, desde viviendas unifamiliares hasta grandes instalaciones, sean estas nuevas construcciones o edificaciones ya existentes. No hay que olvidar que el ACS no solo se utiliza para bañarse, sino también para otros usos como el lavado de utensilios domésticos y lavado de ropa, lo que no solamente aumenta el confort, sino que se tiende a disminuir el consumo de detergentes, lo que a su vez reduce costos económicos y medioambientales.

En este contexto a nivel mundial se están implementando nuevas políticas en desarrollo de sistemas que integren energía renovable, en la actualidad se utilizan 3 sistemas principales para el calentamiento de agua de uso residencial que son el sistema eléctrico, el sistema a gas, y el sistema solar tales sistemas presentan ventajas como desventajas en varios niveles de evaluación es así que es indispensable desarrollar nuevos sistemas que permitan una evolución en la matriz y un menor impacto ambiental.

1.2 Situación del problema

Dentro del desarrollo tecnológico y de investigación se han alcanzado grandes adelantos en el área de energías renovables el uso de sistemas energéticos han ido difundiéndose en la sociedad encontrando sistemas que ofrecen mayor nivel de aceptación como los calefones siendo estos sistemas con un desempeño alto lo cual tiene gran aceptación pero a la par de ser sistemas de gran demanda estos sistemas ofrecen desventajas como la que usan GLP que es una fuente de energía no renovable y con impactos ambientales fuertes. Se estima que en Ecuador existen unos 400 mil calefones funcionando con GLP, la gran mayoría en las provincias de la sierra y principalmente en los hogares de mayor ingreso económico.

Por otra parte los sistemas con energías renovables como los colectores solares presentan ventajas con un mínimo de impacto ecológico pero también desventajas al ser sistemas inestables debido a una inconstante radiación solar, y a la economía que demanda alto costo en su inserción a la sociedad lo cual provoca que no haya una aceptación a pesar de las alternativas que se han formulado acompañado de un desconocimiento sobre este tipo de energías.

En la actualidad existe una gran necesidad de sistemas auxiliares de control automático que permitan cumplir los diferentes objetivos de diseño (sistemas estables, mayor eficiencia, control de temperaturas, mejores tiempos de respuestas etc.) la incorporación de sistemas auxiliares influye directamente en sistemas más estables con mejores tiempos de respuestas y un mayor desarrollo permitiendo así el ahorro de energía y el cuidado del medio ambiente en un proceso más técnico aprovechando la disponibilidad de recursos energéticos renovables que son los factores más importantes en el desarrollo tecnológico de las naciones y es medio para una cultura ambiental más consciente.

Es necesario mencionar que a nivel mundial se están estableciendo nuevas normas aplicadas al correcto manejo de energías renovables. En consecuencia el INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN está integrando nuevas normas de construcción en edificaciones orientadas a la eficiencia energética, lo que traería consigo un ahorro significativo al Estado Ecuatoriano y la reducción de impactos negativos por la producción y el uso de derivados de petróleo y por supuesto por la generación de CO₂.

1.3 Justificación

Ecuador es un país en desarrollo que con la explotación petrolera empezó la modernización de su economía, moviéndose hacia un mayor crecimiento económico y consumo energético. Como resultado de ello, ha tenido una demanda de energía creciente, su matriz energética esta basada en combustibles fósiles como fuente principal de energía y otros recursos no renovable. A nivel mundial se plantean nuevas políticas e investigaciones en el uso eficiente de la energía las cuales integran una nueva matriz energética basada en energías renovables dando lugar en los últimos años a un aumento notable de instalaciones de energía solar térmica en el mundo, los avances tecnológicos permitieron la fabricación de sistemas de mejor calidad y a menor costo y la sociedad está entendiendo la necesidad de sustituir los combustibles fósiles.

La presente investigación está enmarcada en el estudio de un sistema que cumpla con los nuevos exigencias y estándares de eficiencia energética tomando como base la sostenibilidad así como la reducción del impacto ambiental sin dejar de lado al individuo como un ente principal. Otro punto importante es el continuo crecimiento poblacional a nivel mundial y los requerimientos de servicios básicos como es el calentamiento de agua para sector residencial el cual se a convertido en el segundo uso energético doméstico en importancia después de la calefacción y la refrigeración. Por esta razón, el calentamiento de agua mediante energía solar, más allá de ser una alternativa ecológica, se ha convertido en una tecnología económicamente atractiva y competitiva en muchos países.

1.4 Objetivos

1.4.1*Objetivo general*

Analizar, diseñar e implementar un sistema de energía auxiliar automatizado para colectores solares y calefones en el uso racional y eficiente de la energía.

1.4.2 *Objetivos específicos*

Analizar los tipos de sistemas actuales de energía para el calentamiento de agua en uso doméstico.

Diseñar un sistema de energía auxiliar automatizado adecuado para los actuales colectores solares.

Seleccionar, los equipos y componentes más adecuados para el sistema de calentamiento de agua por colectores solares y su experimentación.

Diseño de un manual de instalación y mantenimiento.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción

El sol es una fuente muy poderosa de energía, sin su luz y calor, la vida humana en nuestro planeta no sería posible, el impacto que produce la posibilidad de utilizar la energía solar en forma controlada para nuestros fines, ha permitido el desarrollo de sistemas completos de transformación, almacenamiento y distribución, según convenga.

El interés general por la energía solar se ha acrecentado en los últimos años. Se trata de la más atractiva de las fuentes energéticas alternativas del futuro, no solo por ser limpia y gratuita, sino también por su abundancia y su carácter inagotable a escala humana.

La energía del Sol es eternamente renovable y fácilmente almacenable. La gran variedad de formas de almacenamiento y características particulares de cada una de ellas permiten su utilización con gran versatilidad, desde la pequeña escala de una granja hasta la interconexión con redes nacionales de energía eléctrica.

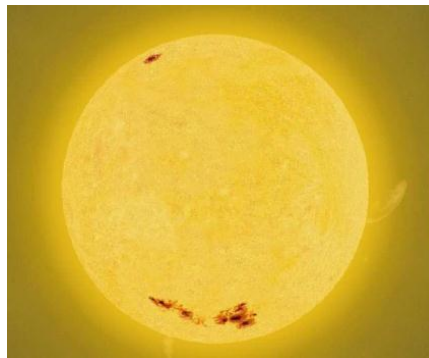
Todos los aspectos de nuestra vida diaria involucran el uso de energía: el transporte, la producción de alimentos y el abastecimiento de agua (bombeo), así como la calefacción o el acondicionamiento de nuestros hogares y oficinas. Para estos fines, los combustibles fósiles tales como el petróleo, el carbón y el gas natural son los más empleados, aun cuando la cantidad de energía solar que alcanza la tierra en un solo día resulta más que suficiente para satisfacer la demanda mundial de energía anual.

La energía solar puede ser aprovechada de modos diversos. Además de las formas simples empleadas para secar ropa, calentar agua o edificios, o para secar cosechas (lo que se conoce como energía térmica solar), el Ecuador, por su posición geográfica, dispone de extensas superficies que pueden ser beneficiadas por la energía solar. En el estudio del presente proyecto nos centraremos en la utilidad de la energía solar térmica juntamente con un sistema auxiliar para el calentamiento de agua buscando la integración en la gestión de los recursos energéticos en el país.

2.2 Energía Solar

La energía solar es una fuente de energía renovable que más desarrollo está experimentando en los últimos años y con mayores expectativas para el futuro. Cada año el sol arroja sobre la tierra cuatro mil veces más energía que la que se consume, lo que demuestra que esta fuente energética está aún infravalorada y sobre todo poco explotada en relación a sus posibilidades. El aprovechamiento de la energía solar consiste en captar por medio de diferentes tecnologías la radiación del sol que llega a la tierra con el fin de emplear esa energía para diferentes usos, como calentar agua, generar electricidad, etc.

Figura 1. Energía solar



Fuente: www.celestiamotherlode.net

De todos los desafíos globales a los que se enfrenta la humanidad, ninguno es más importante que gestionar el medio ambiente de La Tierra con vistas a lograr que pueda sostener la vida en todas sus formas. El desafío consiste en conjugar las demandas contrapuestas de los diferentes usuarios de los mismos recursos y en gestionar esos recursos con vistas a optimizar los beneficios que puedan obtenerse de manera sostenible.

La energía solar es transmitida por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, esta energía la podemos percibir en forma de luz y calor. Cerca del 70% de la energía solar recibida por la tierra es absorbida por la atmósfera, la tierra y por los océanos, mientras que el 30% restante es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio. El siguiente grafico muestra los indicadores de diferentes fuentes de energía disponibles para su utilización.

Figura 2. Energías renovables



Fuente:WBGU

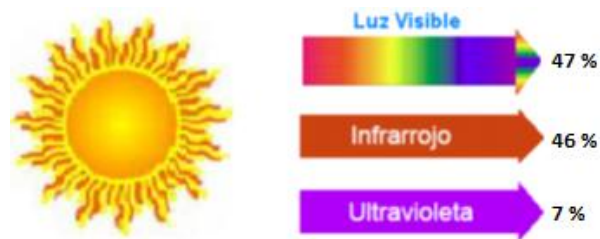
Como se puede apreciar la energía solar es una de las fuentes renovables más extensas para su utilización. Desde que surgió se le catalogó como la solución perfecta para las necesidades energéticas de todos los países debido a su universalidad y acceso gratuito. La radiación solar que alcanza la Tierra puede aprovecharse por medio del calor que produce a través de la absorción de la radiación, por ejemplo en dispositivos ópticos o de otro tipo. Energía perteneciente al grupo no contaminante, conocido como energía limpia o energía verde, la potencia de la radiación varía según el momento del día; las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de radiación el valor es de aproximadamente 1000 w/m^2 en la superficie terrestre. A esta potencia se la conoce como irradiación.

El desarrollo de la energía solar está aún muy limitado en Ecuador, a pesar de ser uno de los países de con mayor radiación solar. Algunas de las causas de la escasa implantación de este tipo de energía son la falta de concienciación ecológica y la necesidad de realizar una inversión inicial alta que no todo el mundo está dispuesto a asumir. No obstante, durante los últimos años los costes se han abaratado de manera importante y, además, las instalaciones solares cuentan con importantes ayudas y subvenciones por parte de las instituciones para intentar fomentar su consumo.

Las ventajas de la energía solar son numerosas respecto a las energías convencionales, en primer lugar es la fórmula energética más respetuosa con el medio ambiente y sus recursos son inagotables, por lo que reduce la dependencia energética de energías fósiles y contaminantes como el petróleo. Por último, facilita el autoabastecimiento y permite generar energía cerca de donde se necesita sin necesidad de costosas infraestructuras para su transporte.

2.2.1 Radiación. Es la energía emitida por el sol (rayos solares) en forma de ondas electromagnéticas que se desplazan en el espacio en todas direcciones. La Figura 3, muestra los componentes de la radiación electromagnética (bandas de radiación) y la Tabla 1, la distribución de sus longitudes de onda.

Figura 3. Componentes de la radiación electromagnética



Fuente: astroyciencia.com

Tabla 1. Distribución de la longitud de onda para la radiación electromagnética

Banda de radiacion	Longitud de onda	Valor
Infrarrojo (onda larga)	0,7 - 3,5 m	46%
Visible	0,4 - 0,7 m	47%
ultravioleta	0,29 - 0,4m	7%

Fuente: astroyciencia.com

Todas estas radiaciones inciden sobre los límites exteriores de la atmósfera.

2.2.1.1 Tipos de radiación solar. La radiación solar que recibe la superficie terrestre se manifiesta de tres maneras diferentes.

Figura 4. La radiación solar



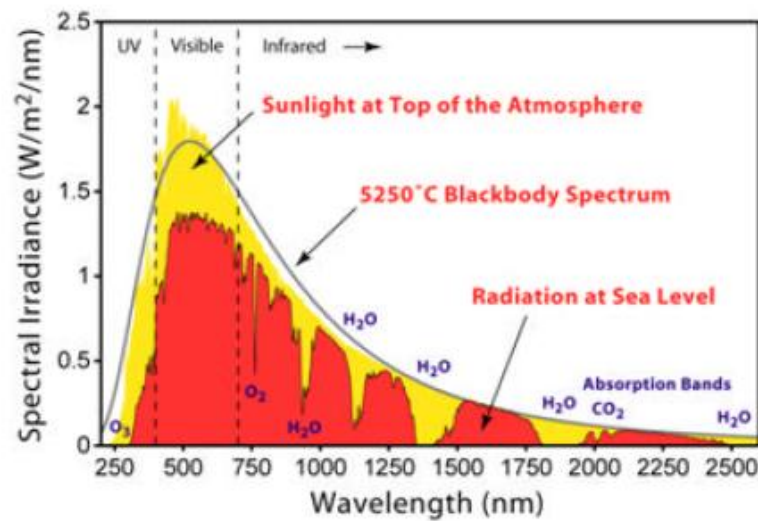
Fuente: astroyciencia.com

- **Radiación directa:** Proviene directamente del sol, es aquella que incide sobre una superficie perpendicular a la dirección de la propia radiación y se caracteriza por ser una luz cegadora. Una superficie captadora absorberá mayor radiación directa, si se instala con una inclinación que la coloque perpendicularmente a los rayos solares.
- **Radiación difusa:** Es la producida por las nubes, tiene una radiación más débil que la directa, es térmicamente aprovechable y sus rayos son los encargados de producir el color azul del cielo.
- **Radiación reflejada:** Está constituida por la radiación directa y difusa que es reflejada cuando incide sobre la superficie de la tierra.

2.2.1.2 Irradiación. Es la magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética. En este caso corresponde a radiación proveniente del sol, la cual se puede percibir en forma de calor o luz (visible o no visible, lo cual dependerá de cada longitud de onda en particular). Su unidad de medida en el sistema internacional es w/m^2 .

En la figura 5 se puede apreciar el espectro de radiación solar para niveles sobre la atmósfera terrestre y a nivel del mar.

Figura 5. Espectro de radiación solar



Fuente: www.kalipedia.com

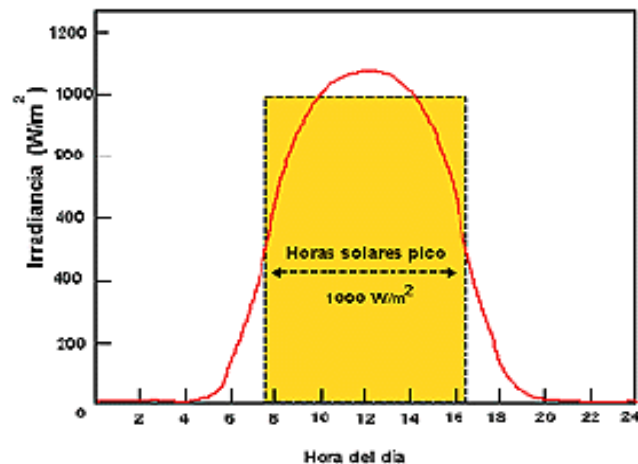
La irradiación directa normal (o perpendicular a los rayos solares) fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor medio de 1354 w/m^2 . Con el fin de simplificar los cálculos realizados en base a la información sobre radiación, la energía solar se expresa en equivalentes a horas de luz solar plena. La luz solar plena registra una potencia de unos 1000 w/m^2 ; por lo tanto, una hora de luz solar plena equivale a 1 kw-h/m^2 de energía Solar pura terrestre.

La radiación fluctúa entre un promedio de 1000 kw-h/m^2 al año, en los países del norte de Europa (tales como Alemania), y 2000 a 2500 kw-h/m^2 al año en las zonas desérticas. Estas variaciones se deben a las condiciones climáticas y a la diferencia con respecto a la posición relativa del sol en el cielo (elevación solar), la cual depende de la latitud de cada lugar.

2.2.1.3 Insolación. Es la energía radiante que incide en una superficie de área conocida en un intervalo de tiempo dado. Su unidad de medida es el watts-hora por metro cuadrado (w-h/m^2).

En la figura 6 se muestra la insolación correspondiente a un día, representada por el área amarilla.

Figura 6. Curva de Irradiación diaria y horas solares pico.



Fuente: <http://diariodeciencia.blogspot.com>

La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere. Esto se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar, es perpendicular a nuestra superficie durante todo el año. Esta ventaja posicional se traduce en la recepción de una mayor y constante cantidad de radiación solar, misma que varía dentro del territorio nacional únicamente por condiciones climatológicas locales y que varían además de acuerdo a la cercanía o lejanía del Sol.

2.3 Eficiencia Energética

La Eficiencia Energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.

Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel de:

- Tecnología: diseñando o modificando dispositivos para que utilicen de forma eficiente la energía.
- Gestión: optimizando los recursos siempre escasos, para producir el mismo producto, de igual o mejor calidad, pero a un costo energético menor.

- Hábitos culturales en la comunidad: asumiendo como propio el desafío de usar eficientemente la energía, adoptando medidas tan simples como apagar las luces que no se estén ocupando.
- La adopción de medidas de optimización de la energía trae beneficios directos al país y a su desarrollo sustentable en cuatro áreas básicas:
 - Estratégicos: reduce la dependencia de fuentes energéticas externas.
 - Económicos: el ahorro de energía permite aumentar el ahorro económico, esto debido a la reducción de la demanda energética por parte de consumidores e industria, en todos los servicios energéticos tales como luz, calefacción, transporte; y generación de actividad económica, empleo y oportunidades de aprendizaje tecnológico, en los nuevos mercados de bienes y servicios que se crearán para los diferentes sectores usuarios.
 - Ambientales: disminución de la demanda de recursos naturales. Esto incluye alivio de presiones locales así como presiones globales tales como las emisiones de CO₂, conducentes al calentamiento global.
 - Sociales y de género: las familias de escasos recursos serán las más beneficiadas, ya que estas destinan gran parte de su presupuesto a energía, especialmente para aquellos hogares cuyos jefes son mujeres.

Figura 7. Eficiencia y desarrollo sostenible



Fuente: MEER

La reducción de la intensidad energética es un objetivo prioritario para cualquier economía, siempre que su consecución no afecte negativamente al volumen de actividad. Uno de los parámetros que determinan la correlación entre consumo de energía y

crecimiento económico es la evolución de la intensidad energética, indicador generalista que señala la relación entre consumos de energía y el PIB.

La energía se obtiene a partir de las Fuentes de energía y las cantidades disponibles de dichas fuentes es lo que se denomina Recursos Energéticos. El carácter limitado o ilimitado de dichas fuentes nos permite diferenciarlas y valorarlas en términos de sostenibilidad partiendo de la evidencia de que la atmósfera está alcanzando su límite medioambiental y de que el consumo energético sigue creciendo, con zonas del planeta en pleno desarrollo demandando su equiparación energética con el mundo desarrollado.

Condiciones de partida actuales respecto a la energía:

- La gran mayoría de la energía que consumimos es generada mediante productos fósiles.
- El aumento del nivel de vida y de confort se encuentra socialmente asociado a un aumento del consumo de energía.
- Existe una gran dependencia de unas áreas sobre otras, a nivel global y local.
- Incremento de la población mundial.
- Los países no desarrollados demandan los mismos niveles energéticos que los desarrollados.
- Aumento de la conciencia social respecto a temas medioambientales.
- Rechazo social a la energía nuclear con tendencia a su eliminación.

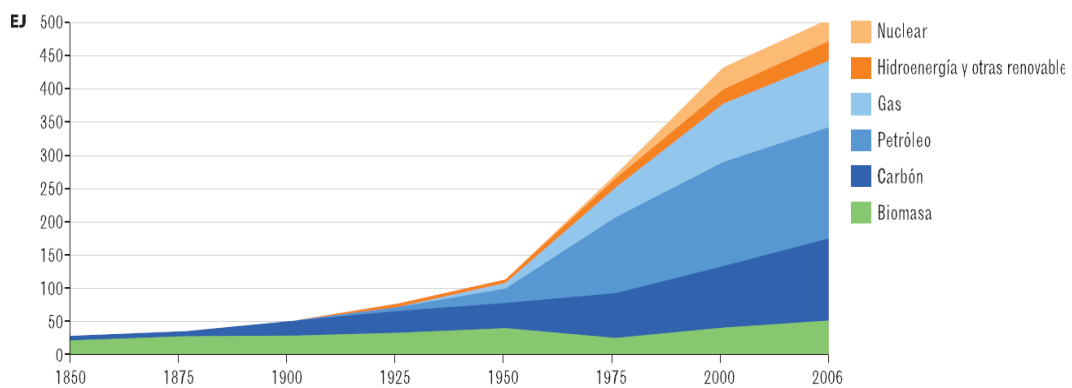
La evolución futura de todas estas cuestiones nos dará la clave para evitar el deterioro de nuestra calidad de vida permitiéndonos la conservación de nuestros ecosistemas actuales. En el día de hoy estamos asistiendo a un resurgir de las denominadas energías renovables no sólo por el notable aumento de los precios de los combustibles fósiles, destacando entre ellos al petróleo, sino también por sus negativos efectos ambientales.

La emisión constante a la atmósfera de los denominados gases invernadero contribuirá al tan anunciado cambio climático donde el incremento de las temperaturas y su influencia en otros factores del clima tendrán como consecuencia efectos graves para los habitantes del planeta y la conservación de los actuales ecosistemas.

Nuestro objetivo debe ser gestionar un sistema donde se combinen la eficiencia energética, con la consecuente reducción del gasto, y la potenciación de las energías de carácter renovable y ello concientizando a todos los actores que intervienen en el multidisciplinar proceso de construir nuestro entorno.

2.3.1 Eficiencia energética en edificaciones a nivel mundial. Antes de analizar la eficiencia energética en edificaciones se presenta datos de evolución de uso mundial de energía. El consumo total de energía se suele expresar como energía primaria, pues se refiere al total de fuentes básicas de energía que se utiliza para generar los servicios energéticos. En los últimos 200 años, el uso de energía primaria ha crecido veinte veces mientras que la población se ha multiplicado por seis.

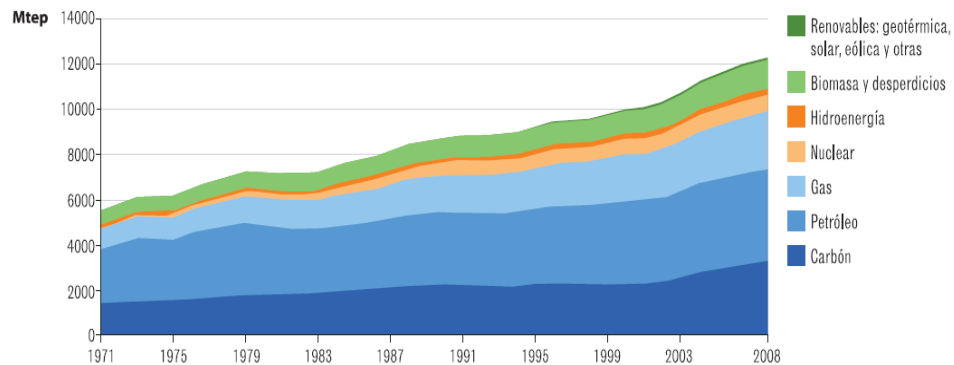
Figura 8. Evolución del uso mundial de energía primaria[1]



Fuente: WB, 2010

La figura 8 muestra indicadores de la evolución de uso mundial de la energía primaria. El uso de estos combustibles fósiles ha traído como consecuencia la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), dióxido de carbono CO₂, y otros contaminantes como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, dióxido de azufre y de otro material particulado.

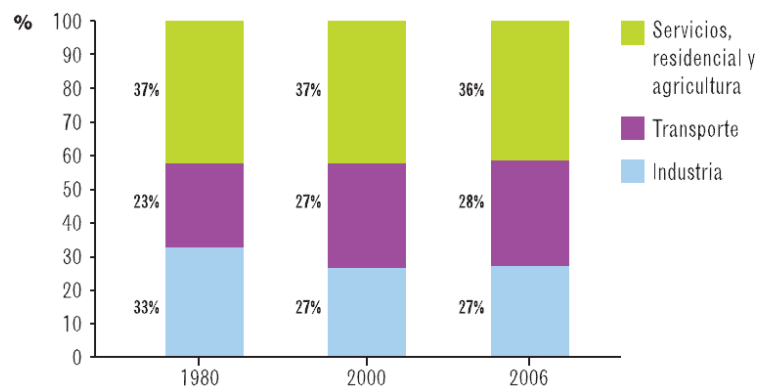
Figura 9. Evolución de la oferta de energía primaria total mundial por fuentes [2]



Fuente: IEA, 2010

A continuación se presenta el consumo a nivel mundial por sectores.

Figura 10. Consumo de energía mundial por sectores [3]



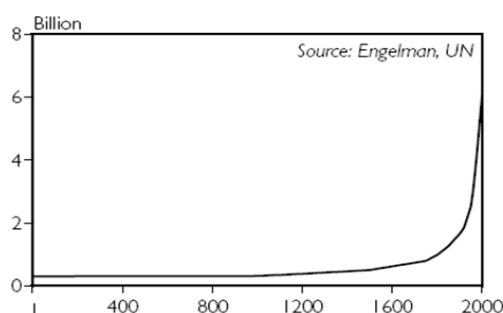
Fuente: IEA, 2008

Uno de los sectores a nivel mundial de mayor consumo es el sector residencial, casi el 80% de nuestras vidas se desarrolla en el interior de edificios y la mayor parte del tiempo restante en las ciudades. El edificio tiene por objeto ser el intermediario entre el hombre y el ambiente exterior, por lo tanto debe ser un amortiguador, debe conseguir un ambiente confortable.

2.3.2 Crecimiento de la Población. Cuantitativo. La población mundial crece hoy a razón de 1,3 % por año.

- cada día se incorpora ¼ millón de personas al planeta.
- 76 millones más cada año

Figura 11. Crecimiento de la población a nivel mundial



Fuente: PopulationSinceA.D.I.

El 50 % de la población mundial vive en ciudades, las que consumen el 75 % de la energía y emiten el 80 % gases de efecto invernadero.

Las edificaciones en las ciudades son responsables:

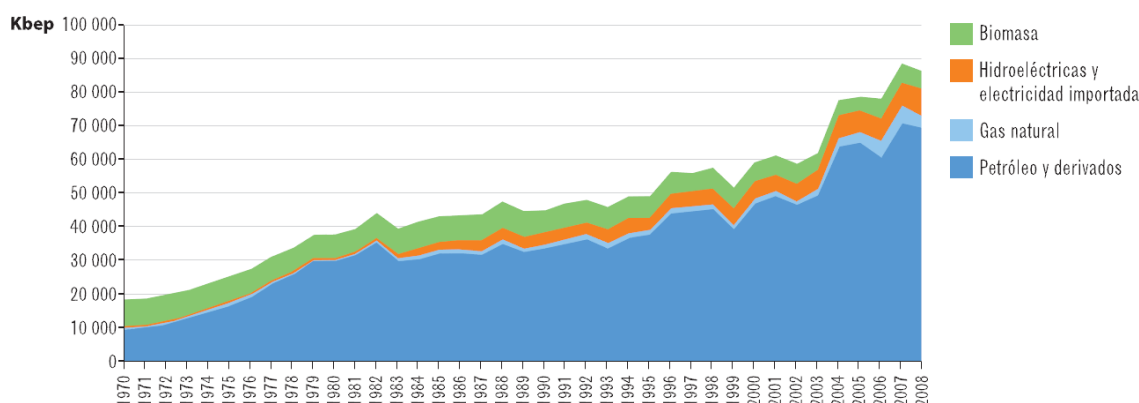
- del 40% de las emisiones de CO₂,
- del 60% del consumo de materias primas,
- del 50% del consumo de agua,
- del 35% de la generación de residuos y de la ocupación del suelo.
- La construcción como actividad contribuye a emisiones de otro 10% a 20% de CO₂ adicional.

Las edificaciones tienen un enorme impacto sobre el medio ambiente. Esos impactos ocurren durante todas las fases de la vida de un edificio, desde la construcción, a través de la operación y hasta el final de su vida durante la demolición. En los EU las edificaciones utilizan más del 30 % de toda la energía que se consume en el país, y más del 60 % de la electricidad, demandas que continúan creciendo.

2.3.3 Panorámica de la matriz de la energía en el Ecuador[4]. La demanda de energía primaria total de Ecuador creció 4,1% anual entre 1970 y 2008. Así, en cuarenta años, la demanda de energía se ha multiplicado por un factor de 4,7 pasando de 18,3 Mbep en 1970 a 86 Mbep en 2008. Si comparamos con América Latina y con el resto del mundo para el período 1980-2006, nuestro país tuvo un crecimiento de la demanda de energía de 2,74%; mayor al promedio mundial (1,6%) y al de la región (2%). Con la

explotación petrolera el Ecuador empezó la modernización de su economía y un mayor crecimiento económico y, por ende, una creciente demanda de energía. La estructura de la matriz ha variado pero, en general, las tres fuentes dominantes de energía en el país son: petróleo, hidroelectricidad y biomasa.

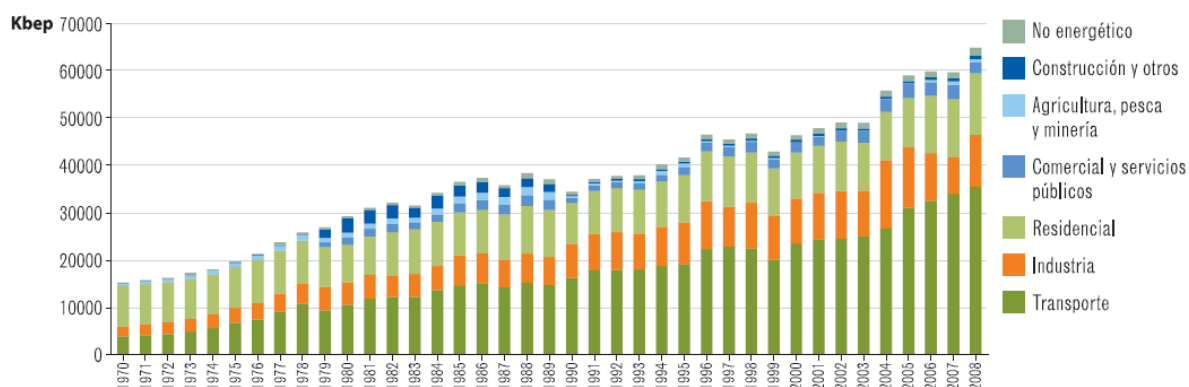
Figura 12. Demanda de energía primaria total de Ecuador por fuentes [5]



Fuente: OLADE, 2011

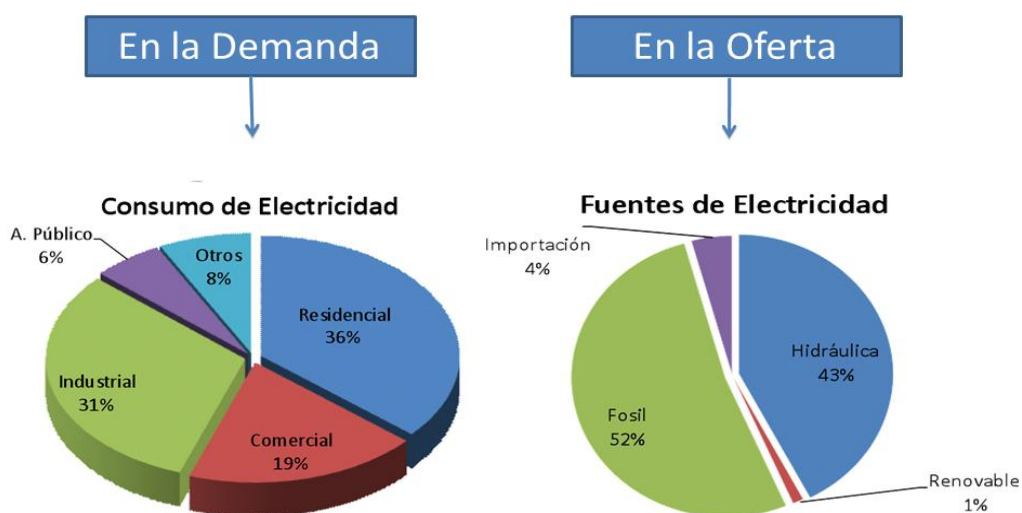
Respecto al consumo de energía por sectores en el país, el transporte es el que mayor cantidad demanda, después está el residencial y en tercer lugar la industria. Durante las cuatro décadas pasadas, la participación de estos sectores en la composición del consumo ha tenido cambios. En el sector residencial la tendencia obedece a la sustitución de la biomasa (leña) por combustibles fósiles (kerosene y GLP). En términos energéticos, la sustitución de una energía con niveles muy bajos de eficiencia (leña, con alrededor del 5%) por energías de más alto rendimiento (kerosene, 30% y GLP, 40%) implica un volumen menor de energía final para la satisfacción de un mismo nivel de servicio (energía útil). Los siguientes gráficos muestran la demanda y la oferta de energía en Ecuador.

Figura 13. Demanda de energía primaria total del Ecuador por sector[6]



Fuente: OLADE, 2011

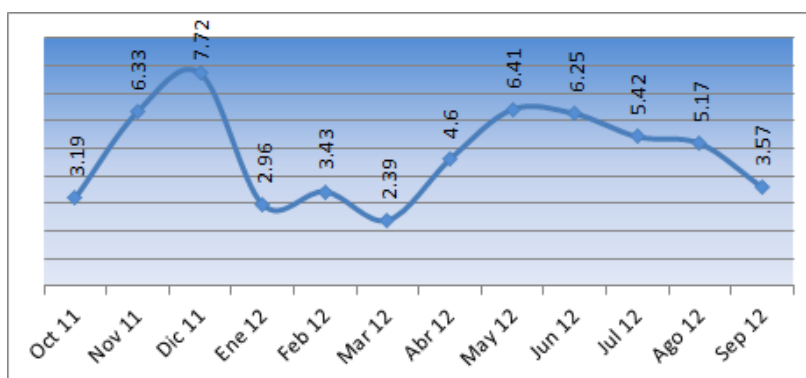
Figura 14. Matriz energética del Ecuador demanda vs oferta



Fuente: Estadísticas del CONELEC, 2010

A continuación en la figura 15 el CENACE publica la tasa de crecimiento de la demanda energética en Ecuador lo cual demuestra un crecimiento en la demanda de energía a nivel nacional.

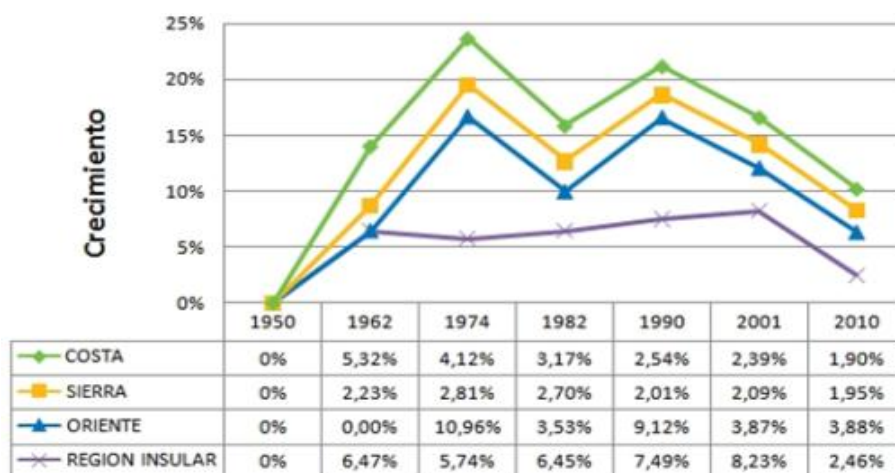
Figura 15. Taza de crecimiento energético vs. tiempo [7]



Fuente: MEER

Otro parametro importante es la tasa de crecimiento poblacional el cual permite proyectarse y tener una apreciacion a futuro. El INEC de acuerdo al censo del 2010 expone la tasa de crecimiento poblacional el cual demuestra una demanda mayor de recursos energeticos.

Figura 16. Taza de crecimiento poblacional en Ecuador [8]



Fuente: INEC (Censos), 2010.

El consumo energético total del país ha tenido un incremento notable desde el año 2000, cabe notar que mientras la población del Ecuador aumenta el índice de consumo energético va en ascenso, esto es algo comprensible, pues el país demanda mayor cantidad de energía a medida que su población crece El crecimiento económico previsto para los próximos años en el Ecuador, y por tanto, el aumento sostenido de la

producción y el bienestar de la población, requerirán de mayores servicios energéticos. Pero esa mayor disponibilidad y acceso a los servicios energéticos, además de requerir el aumento en la producción de energía, deberá basarse en el uso más eficiente de los hidrocarburos, la electricidad y demás energéticos, como una de las mejores alternativas para preservar los recursos naturales y coadyuvar a la protección del ambiente, al tiempo que busca optimizar el ingreso que por venta del petróleo y disminución de importación de combustibles fósiles representa para el país. Eficiencia energética en edificios públicos implica lograr un nivel de producción o servicios, con los requisitos establecidos por el cliente o usuario, con el menor consumo y gasto energético posible, y la menor contaminación ambiental por este concepto. El Consejo Mundial de Energía (WEC), establece que el término eficiencia energética se refiere a todos los cambios que resulten en una reducción de la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de bien o servicio, o para suplir los servicios energéticos requeridos para un nivel de confort dado. De este modo, se puede plantear que la eficiencia energética en un edificio público implica satisfacer los servicios energéticos con la calidad requerida para asegurar el cabal cumplimiento de las funciones institucionales y el confort y la seguridad e higiene del trabajo del personal, con el menor consumo y gasto energético posible y la menor contaminación ambiental por este concepto. La eficiencia energética demanda cambios en los planos económico, tecnológico y de conducta. De acuerdo estudios realizados el sector residencial es el 2 consumidor de energía a nivel nacional entre las causas por las cuales el sector residencial es un gran consumidor de energía podemos anotar las siguientes.

- La presencia de subsidios a la electricidad y al GLP han hecho que los constructores prefieran economizar en la inversión inicial de las viviendas para resolver el problema del confort a posterior usando equipos activos de alto consumo energético.
- El desconocimiento académico por parte de las escuelas de formación y universidades acerca de los conceptos de bioclimatismo y uso pasivo de la energía solar, eólica, geotérmica, etc. que ha desembocado en una forma de construir genérica sin distinguir entre las diferencias climáticas de las diferentes ciudades del país
- El déficit de vivienda sumado a los niveles de pobreza, han hecho que muchas de las edificaciones construidas en el país sean de bajo presupuesto, economizando en materiales que hacen que estas viviendas no alcancen los niveles de confort adecuados.

- Falta de un marco legal que regule la eficiencia de las edificaciones durante su vida útil, que hace que los diseñadores no tomen en cuenta este parámetro a la hora de la concepción de las edificaciones.

2.3.4 *Eficiencia de las instalaciones activas en el sector residencial en Ecuador.* Las viviendas y edificios pueden disponer de instalaciones activas apropiadas destinadas a procurar el bienestar de sus ocupantes. Para esto se deben establecer las condiciones de eficiencia que deben cumplir las instalaciones con el objeto de conseguir un uso racional de la energía y protección al ambiente, teniendo siempre en cuenta los demás requisitos esenciales que deben cumplirse durante un período de vida económicamente razonable.

2.3.4.1 *Instalaciones activas.* Una instalación activa es cualquier sistema necesario en una edificación que mantenga el ambiente interior dentro de los parámetros de confort mediante el uso de equipos que consuman energía eléctrica u otra fuente de energía primaria.

Entre las instalaciones activas usuales en edificios se encuentran las siguientes:

- Sistemas de calefacción
- Sistemas de aire acondicionado
- Sistemas de ventilación
- Sistemas de generación de agua caliente sanitaria
- Sistemas de bombeo
- Deshumidificadores
- Sistemas de generación de vapor
- Sistemas de aire comprimido
- Grupos electrógenos

Cuando el uso final de la energía en las edificaciones sea térmico, se debe contar con una contribución mínima de energía renovable o recuperación de calor residual según la Tabla 2.

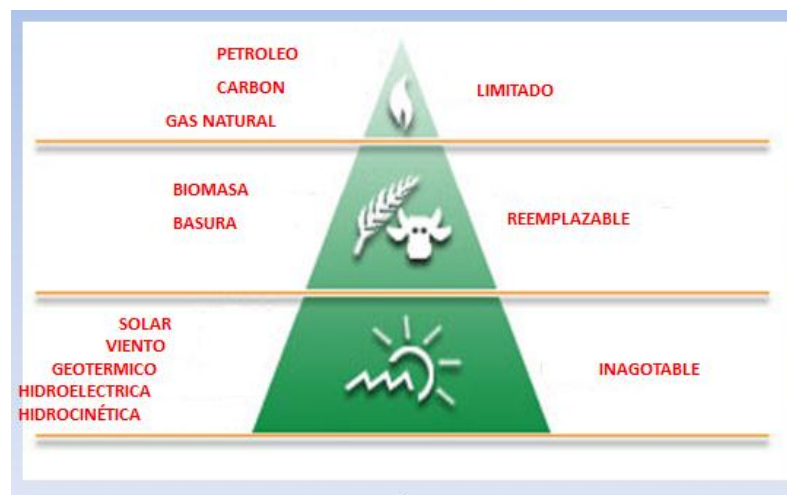
Tabla 2. Aporte de fuentes renovables de acuerdo al uso

Uso final de la energía	Porcentaje de aporte con energía renovable
Calefacción	25%
ACS	75%
Piscinas cubiertas	60%
Piscina descubierta	90%

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción

2.3.5 Energías renovables. Los esquema siguientes muestra la distribución de los diferentes alternativas para la producción de energía las cuales las más idóneas van desde la parte inferior hasta las menos idónea para su aplicabilidad y uso.

Figura 17. Alternativas para la producción de energía



Fuente: MEER

Figura 18. Potencial de ER en el mundo



Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Available_Energy-3-es.png

Entendemos por energía renovable aquella fuente de energía primaria que se renueva al finalizar el proceso en el que tomó parte o es tan grande su disponibilidad en el tiempo que para tiempos humanos ésta es como si fuera renovable. Por otro lado, es importante hacer diferencias entre los distintos tipos de energías renovables en función de las tecnologías que la aprovechan. Una podría ser en términos de los tamaños de los sistemas, de micro, meso o macro escala, pero parece más adecuado hacer esta diferenciación en términos del lugar donde se usa la energía secundaria que produce. Así se tiene por un lado, las tecnologías de energías renovables cuyo producto en energía secundaria es usado en el mismo lugar donde están instalados los sistemas, y por otro lado, aquellas donde el uso de la energía secundaria está alejado o fuera de lugar donde se produjo la energía secundaria. A las primeras se les puede llamar energías renovables de uso local y a las segundas energías renovables de uso remoto. Las primeras incluyen a:

- La energía solar pasiva en edificaciones
- La producción de calor por captadores de radiación solar
- Los arreglos fotovoltaicos para generación de electricidad
- La producción de energía eléctrica con celdas combustibles
- El uso del calor ambiental en bombas de calor
- La conversión del viento en energía eléctrica
- La conversión de biomasa en energía eléctrica, etc.

Todas estas tecnologías tienen en común que son capaces de producir energía secundaria derivada de la energía solar en casi todos los climas de la tierra. Sin embargo, el tipo y la cantidad de energía renovable dependen del lugar. Las aplicaciones de las energías renovables de uso remoto tienen la característica de coleccionar y convertir la energía renovable en un lugar, y tener el consumo de la energía secundaria en otro lugar, alejado del primero. Estas aplicaciones incluyen a:

- Plantas de potencia termosolares y Fotovoltaicas
- Plantas de potencia hidroeléctrica
- Plantas de potencia de viento
- Sistemas de conversión de energía térmica oceánica
- Plantas de potencia geotérmicas.

Las cuatro primeras aplicaciones corresponden al aprovechamiento de la energía solar en su forma directa como energía radiante o en su forma indirecta como viento, el agua almacenada en presas y gradientes térmicos en los océanos. Todas esas energías por venir del sol se consideran renovables. En rigor, el sol tiene una vida finita pero para los tiempos de la especie humana se considera infinita y por eso el atributo de energía renovable. La quinta aplicación corresponde al uso de la energía geotérmica que también es finita. Sin embargo, por la dinámica del subsuelo, existen en el mundo muchos yacimientos geotérmicos cuyo tiempo de vida rebasan el tiempo de la escala humana. Por ello también a esta forma energética se le considera renovable. Nótese que asociada a la diferencia entre las energías renovables de uso local y las de uso remoto, se encuentra también el tamaño de los sistemas. En las primeras, en general, se tienen sistemas pequeños, en tanto en las segundas, se consideran sistemas grandes.

2.3.6 *Tendencias en tecnologías de fuentes de energía renovable en Ecuador.* El cambio climático, el pico (o cénit) petrolero y la seguridad energética son las tendencias mundiales que empiezan a marcar el ritmo de la transición energética requerida para abastecer a la creciente demanda de energía mundial al tiempo que se abandona aquella que ha sido la principal fuente de energía hasta la actualidad: combustibles fósiles. Ante este reto, las tecnologías de fuentes de energía renovable están recibiendo fuertes incentivos y estímulos de desarrollo a nivel global. Esto ha permitido que varias de ellas se vuelvan competitivas ante alternativas tradicionales de generación energética y empiecen a tener un despliegue y uso comercial.

De hecho, los últimos 25 años de inversión en fuentes de energía renovable han permitido reducciones de costos en valores del 40% en tecnologías relacionadas con biomasa, del 70% en geotermia y del 90% en energías eólica, solar fotovoltaica y solar térmica. Por ello, es importante interpretar el estado de las tendencias globales en desarrollo y difusión de las tecnologías de fuentes de energía renovable. La intención de esta sección es conocer el lugar en la cadena de desarrollo tecnológico en que se encuentran las tecnologías de fuentes de energía renovable con la finalidad de analizar un primer factor crítico en la factibilidad para su adopción, la disponibilidad comercial de prototipos y diseños para su aprovechamiento. En esta tesis nos enfocaremos en el aprovechamiento de la energía solar.

2.3.7 Viabilidad estratégica del aprovechamiento de energía solar en Ecuador. En energía solar existe una amplia gama de tecnologías para usos de calefacción, iluminación, electricidad, combustibles, entre otros. Estas tecnologías presentan diversos grados de madurez y desarrollo. Entre las tecnologías solares, las más competitivas en precios respecto a fuentes tradicionales de energía son los sistemas solares térmicos para calefacción o calentamiento de agua. Otras que se encuentran en la fase de despliegue y utilización, a un creciente ritmo, son los sistemas fotovoltaicos para generación de electricidad. Con las tecnologías de energía solar también se empieza a marcar una tendencia de sistemas energéticos descentralizados.

El fuerte desarrollo tecnológico de las últimas décadas (1973-2005) en energías solares ha permitido que aquellas tecnologías más investigadas, como los paneles fotovoltaicos y colectores solares, tengan reducciones de costos de casi el 80%. A pesar de que tuvieron un incremento de precios desde 2003, varios motivos volvieron a reducirlos. Entre estos: nuevos suministros de silicio, competencia de paneles PV basados en láminas delgadas de materiales como cobre; y reducción de la fuerte demanda de España y Alemania.

La tendencia es que los sistemas solares activos de paneles térmicos y paneles PV sean componentes esenciales de todos los techos de hogares y edificios. Inclusive, serán incorporados en los hogares y edificios desde su diseño y construcción. La tecnología solar térmica concentrada para generación eléctrica es una opción probada en centrales medianas y grandes. Su desarrollo es más reciente y también tiene potencial en mejoras del diseño y en las economías de escala resultado de su producción en masa. Los avances tecnológicos y de mercado proyectan reducciones del 30 al 40% para 2020.

A base de las tendencias en la tecnología y en la industria, se considera que las tecnologías más maduras en la cadena de desarrollo y con potencial para ser utilizadas en Ecuador son los sistemas solares PV, los sistemas solares térmicos para calefacción o calentamiento de agua y los térmicos concentrados para generación de electricidad.

2.4 Desarrollo energético sustentable

El concepto de desarrollo sustentable fue formulado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, en 1987 en el informe titulado *Nuestro futuro común*, más conocido por el nombre de la presidenta de la Comisión como Informe Brundtland.

En 1983 la Asamblea General de las Naciones Unidas crea la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CNUMAD), redactora del informe antes mencionado. A partir de entonces el concepto de desarrollo sostenible informará todas las actuaciones de la ONU en este campo. En 1992, se celebra en Río de Janeiro, coincidiendo con el 20 aniversario de la Conferencia de Estocolmo, la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo, más conocida como Cumbre de la Tierra. En ella se trató de fijar un nuevo modelo de desarrollo y el establecimiento de acuerdos vinculantes y la creación de órganos y mecanismos de control. Fruto de la misma fueron documentos como la Agenda 21, que establece una serie de normas para establecer un desarrollo sostenible social, económica y medioambientalmente; o como la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo. También implicó el nacimiento del denominado Foro Global con representación de 1500 ONGs. Por último hay que destacar el Convenio Marco sobre Cambio Climático, que pretende estabilizar los niveles de estos gases en la atmósfera.

Con el tiempo se han ido haciendo aportaciones teóricas que han profundizado en el concepto inicial, superando las visiones demasiado restrictivas que tendían a centrarse exclusivamente en los aspectos medioambientales. De este modo la propio Gro Harlem Brundtland, matizó su definición inicial en 2002: “El desarrollo sostenible exige la integración de los objetivos económicos, sociales y medioambientales de la sociedad con el fin de optimizar el bienestar humano actual sin comprometer el bienestar de las generaciones futuras”.

2.4.1 El Protocolo de Kioto. El 11 de diciembre de 1997 los países industrializados se comprometieron, en la ciudad de Kioto, a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. Los gobiernos signatarios pactaron reducir en un 5% de media las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004. El objetivo principal es disminuir el cambio climático de origen antropogénico cuya base es el efecto invernadero. Según las cifras de la ONU, se prevé que la temperatura media de la superficie del planeta aumente entre 1,4 y 5,8 °C de aquí a 2100, a pesar que los inviernos son más fríos y violentos. Esto se conoce como Calentamiento global. «Estos cambios repercutirán gravemente en el ecosistema y en nuestras economías», señala la

Comisión Europea sobre Kioto. El protocolo de Kioto trata de lograr que para el periodo 2008-2012 que los países desarrollados disminuyan sus emisiones totales de seis gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC y SF₆) un 5,2 % menos del nivel de emisiones de 1990. Además del cumplimiento que estos países hicieron en cuanto a la emisión de gases de efecto invernadero se promovió también la generación de un desarrollo sostenible, de tal forma que se utilice también energías no convencionales y así disminuya el calentamiento global. A pesar de los innumerables llamados de alerta y políticas para un desarrollo sostenible y sustentable, Ecuador se sitúa dentro los países con una integración en políticas de eficiencia energética baja en términos de cumplimiento de los compromisos sobre emisiones.

2.4.2 Desarrollo energético sostenible. La sostenibilidad energética, o también llamada sustentabilidad energética es definida por el WorldEnergy Council - WEC, como el equilibrio entre tres dimensiones principales, la seguridad energética, la la equidad social, y la mitigación del impacto ambiental. El desarrollo de sistemas de energía estables, accesibles y ambientalmente aceptables desafía soluciones simples. Estos tres objetivos son un "trilema" que requiere de complejas interconexiones entre sectores público y privado, entre gobiernos y entes reguladores, entre la economía, los recursos nacionales disponibles, las normativas legales vigentes, las preocupaciones ambientales y el comportamiento individual y colectivo de las sociedades.

Figura 19. Perspectiva internacional



Fuente: OLADE

Como conclusión el desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las capacidades de las generaciones futuras de satisfacer las suyas (Informe Brundland, 1987).

Figura 20. Modelo de energía sostenible



Fuente: OLADE

En este contexto la transformación completa de la forma de producir, transportar y consumir energía involucra un modelo de desarrollo energético sostenible como se indica en la figura 21.

Figura 21. Pilares del desarrollo energético sustentable.



Fuente: Matriz energetica de Ecuador

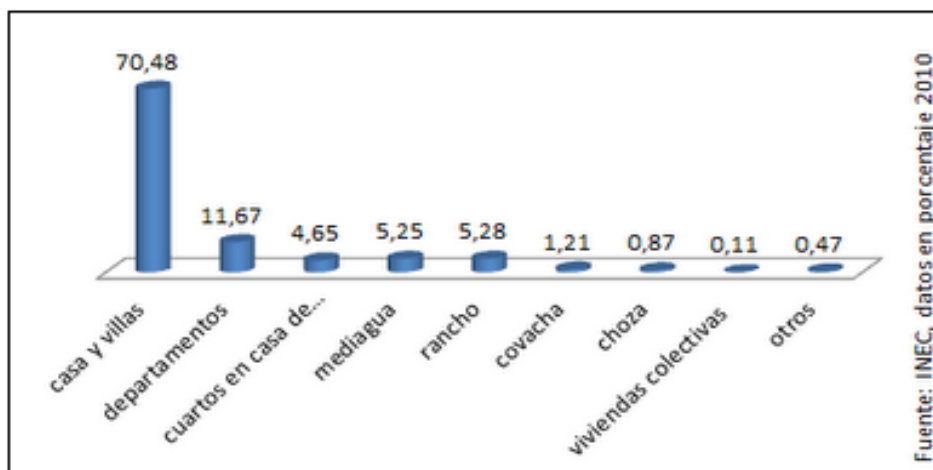
2.5 Sistemas para el calentamiento de agua para uso doméstico en Ecuador

A continuación se analizará las condiciones de vivienda en Ecuador como los tres sistemas que se emplea para el calentamiento de agua como son el sistema eléctrico, el sistema a gas y el sistema solar en Ecuador como en la ciudad de Riobamba.

2.5.1 Condiciones de Vivienda en el Ecuador. El último censo en el 2010, nos dice que en el Ecuador hay 4 654 054 viviendas de las cuales el 94,77% dispone de energía eléctrica, el 73,7% dispone de agua mediante tuberías, el 55,2% de eliminación de excrementos, el 66,5% dispone de teléfono, el 68,89% tiene el piso de sus viviendas con bloques de ladrillo (los otros porcentajes restantes de otros materiales). El 60,09% dispone de duchas, etc. Los tipos de viviendas más comunes en el país son: casa y villas, departamentos, cuartos en casa de inquilinato, mediagua, rancho, covacha, choza, viviendas colectivas y otros.

Agrego además que según datos estadísticos de la CEPAL, del gasto público que realiza el país, el 3,9% lo destina al gasto de viviendas, es decir que su contribución no es tan alta y lo mismo sucede con algunos países de la región. Por lo que se debe dar más prioridad a los servicios básicos y mejorar las condiciones de viviendas de los habitantes.

Figura 22. Tipos de vivienda en el Ecuador[9]

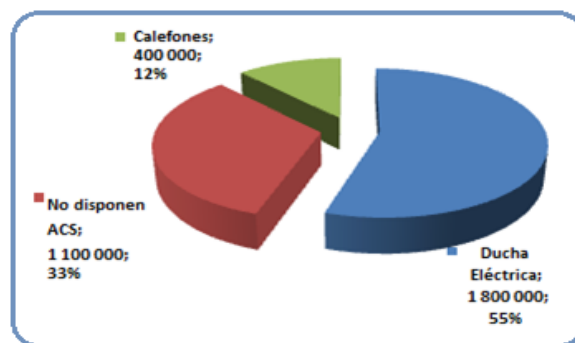


Fuente: INEC

2.5.2 Análisis de sistemas independientes en Ecuador. Ecuador cuenta con importantes recursos energéticos renovables y no renovables, entre los que se destacan el solar e hídrico, por el gran potencial que presentan y, el petróleo, por ser actualmente la principal fuente de ingresos de divisas del país. El balance de energía disponible al 2011, elaborado por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), muestra que el consumo de energía “no comercial” (leña, residuos vegetales, entre otros) representó alrededor del 4% del consumo final de energía; sin embargo, los requerimientos energéticos del país son abastecidos mayoritariamente por hidrocarburos fósiles, los que suplieron el 82% de la demanda de energía, mientras que los consumos de electricidad y otros (no energéticos) correspondieron a 11% y 3%, respectivamente.

Es así que para la generación de ACS se utilizan nada más que recursos no renovables, como se muestra en a continuación:

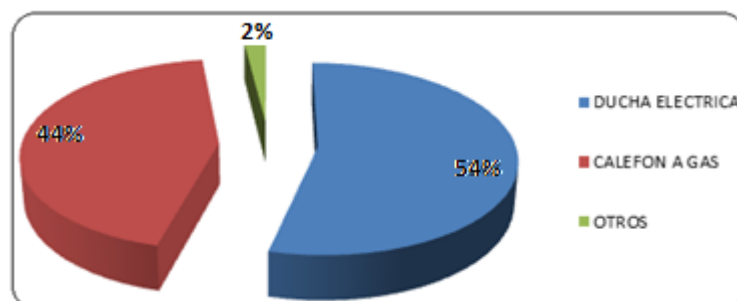
Figura 23. ACS en los hogares Ecuatorianos[10]



Fuente: MEER

Y en la ciudad de Riobamba no es la excepción, como se muestra:

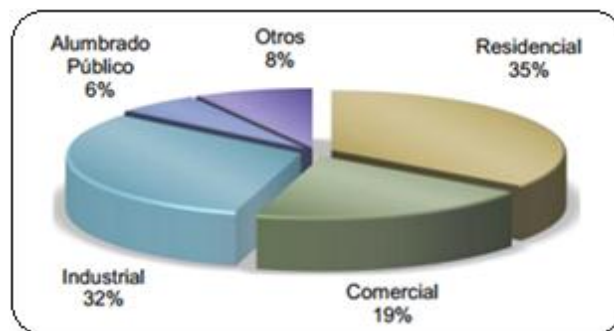
Figura 24. Uso de artefactos para calentamiento de agua[11]



Fuente: EERSA

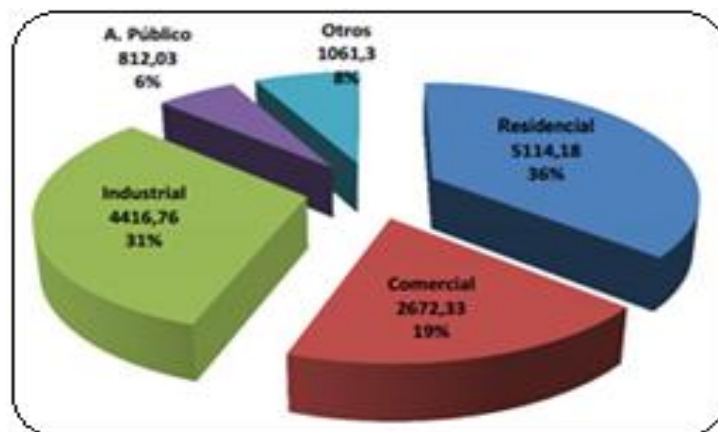
2.5.3 Análisis Sistema Eléctrico. La energía eléctrica en el Ecuador es bastante consumida principalmente por el sector residencial y un gran porcentaje para obtener ACS, como se verá más adelante. Primeramente se muestra en la figura 25 la composición del consumo total de energía eléctrica por sectores a nivel nacional, el consumo de los subsectores se agrupa: asistencia social, bombeo de agua, entre otros, el mismo que obedece al 8% del consumo nacional.

Figura 25. Composición del consumo porcentual de energía eléctrica en el 2011



Fuente: matriz energetica de Ecuador

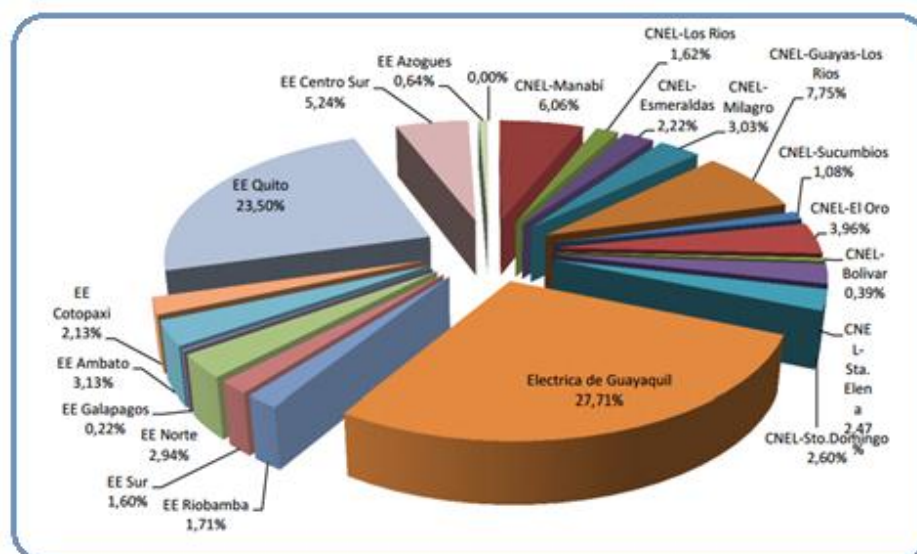
Figura 26. Composición del consumo total de energía eléctrica Gw-h en el 2011[12]



Fuente : Matriz energetica de Ecuador

A continuación en el Gráfico se muestra el consumo eléctrico por áreas de concesión, en el que el 52% de la energía eléctrica del Ecuador es consumida por los usuarios de la Empresa Eléctrica Quito y la Eléctrica de Guayaquil, y tan solo un 1,71% en Riobamba.

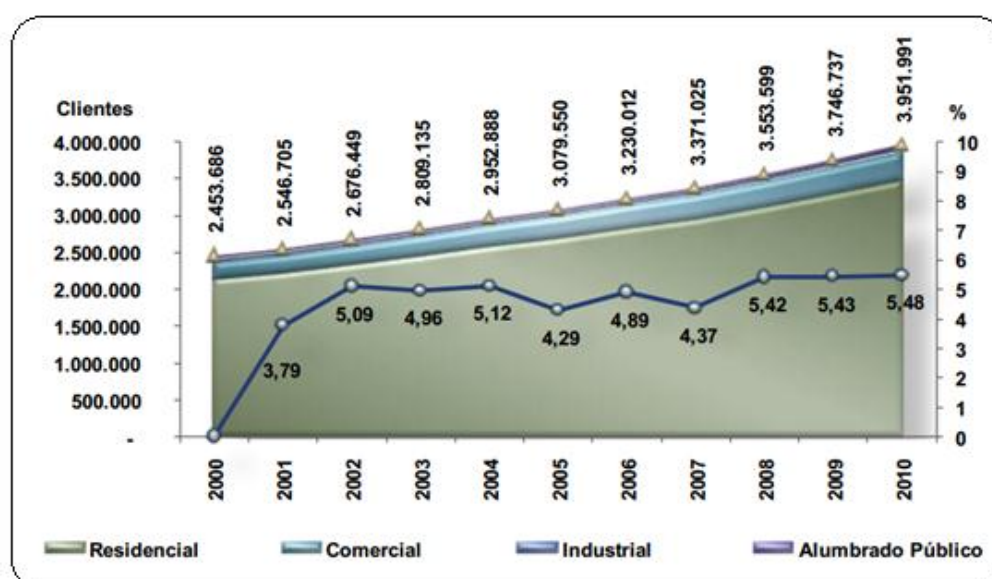
Figura 27. Consumo nacional por areas de concesión Gw-h 2011[13]



Fuente: Matriz energetica de Ecuador

En este sentido, las principales medidas de eficiencia energética deberían ir encaminadas a optimizar el consumo de los sectores de mayor demanda: residencial, industrial y comercial, pues juntos representan cerca del 87% del consumo eléctrico nacional. Sin embargo, no se debe descuidar la intervención en los demás sectores.

Figura 28. Costos finales de la empresa de distribución, periodo 2000 – 2010[14]



Fuente: Matriz energetica de Ecuador

La figura 28 muestra un claro aumento de consumo, en el 2010 los clientes finales (Regulados y No Regulados) fueron 3 951 991, dato registrado en el mes de diciembre, cuyo desglose por sectores de consumo y porcentaje se muestran en la tabla 5.3.

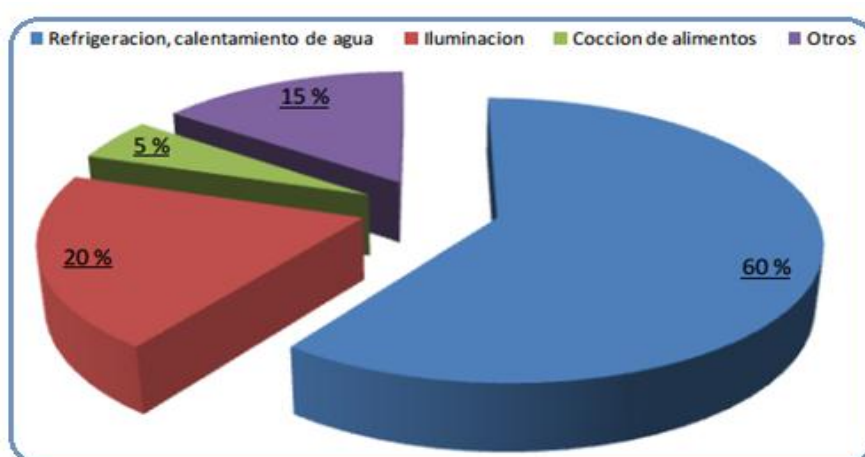
Tabla 3. Clientes finales (a diciembre de 2010)

Grupo de Consumo	Clientes	%
Residencial	3.470.331	87,81
Comercial	386.639	9,78
Industrial	45.303	1,15
Alumbrado Público	362	0,01
Otros	49.356	1,25
Total	3.951.991	100

Fuente: Matriz energetica de Ecuador

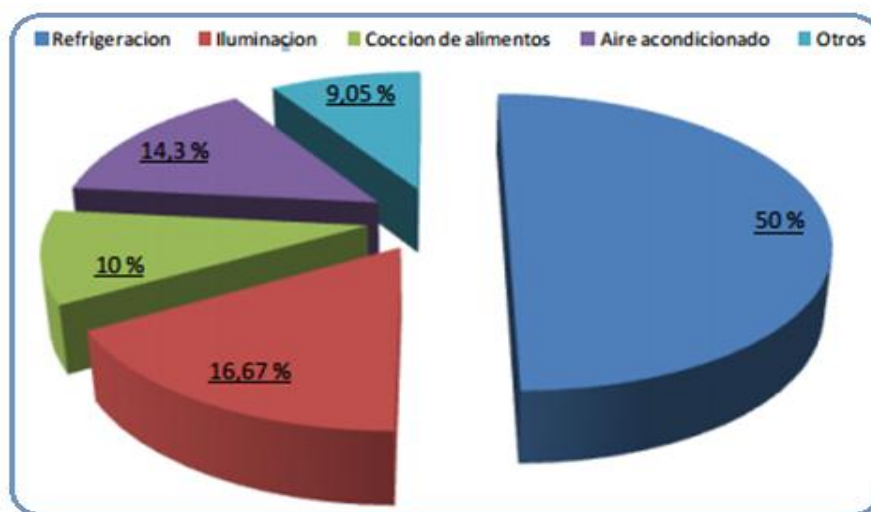
2.5.4 Usos finales de energía. El estudio de los usos finales de energía, permite conocer la cantidad de energía que se utiliza en los distintos equipos y artefactos existentes a nivel residencial, como en refrigeración de alimentos, iluminación, etc. Esta información permitirá plantear medidas o planes de eficiencia de energía con el fin de atacar al mayor componente de la demanda. Un estudio de usos finales realizado por el INECCEL en el año de 1993 permitió conocer el consumo energético residencial de la Sierra, Figura 29 y Costa, Figura 30.

Figura 29. Usos finales region sierra



Fuente: Matriz energetica de Ecuador

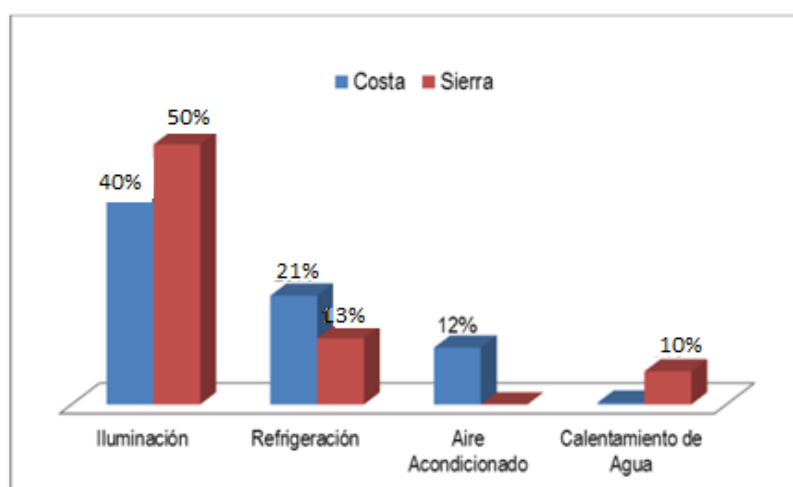
Figura 30. Usos finales region costa



Fuente: Matriz energetica de Ecuador

El comportamiento de la demanda eléctrica a nivel nacional, en el período de demanda máxima u horas pico, está influenciado por el consumo del sector residencial, esto debido principalmente al uso de la iluminación y artefactos, representando en la Costa el 40%, y en la Sierra el 50% del consumo total residencial. El segundo uso más importante es la refrigeración de alimentos con el 21% en la Costa y el 13% en la Sierra. El tercer uso en la Costa constituye el aire acondicionado con el 12%, mientras que en la Sierra es el calentamiento de agua, que aporta con el 10%.

Figura 31. Demanda electrica sector residencial



Fuente: Matriz energetica de Ecuador

2.5.5 Energía Eléctrica en Riobamba. En este apartado se analizara el sistema eléctrico en el sector residencial de esta ciudad, se expondrá los parámetros que determinan la curva de carga y los usos finales de la energía.

Tabla 4. Datos generales EERSA

GRUPO DE CONSUMO	CLIENTES	ENERGIA FACTURADA (MWh/MES)	% DE CLIENTES	% DE CONSUMO
RESIDENCIAL	128,399	8477,52	87,5%	41,6%
COMERCIAL	14,832	3212,13	10,1%	15,8%
INDUSTRIAL	794	2488,92	0,5%	12,2%
OTROS	2,694	6198,34	1,8%	30,4%
TOTAL	146,719	20376,91	100%	100%

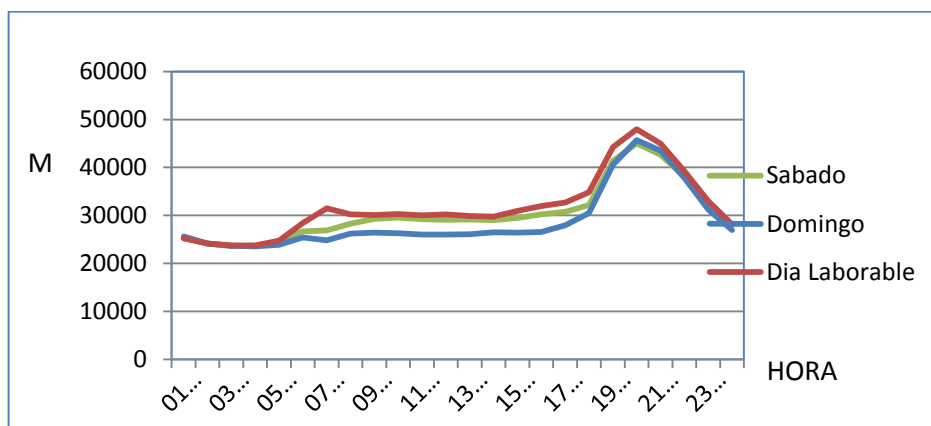
Fuente: EERSA

Los parámetros que definen el suministro de la energía eléctrica son:

- Energía consumida
- La demanda de potencia
- La naturaleza cambiante de la demanda

La figura 32 muestra la Curva de carga que define la variabilidad de la demanda de potencia en función del tiempo.

Figura 32. Curva de carga



Fuente: EERSA

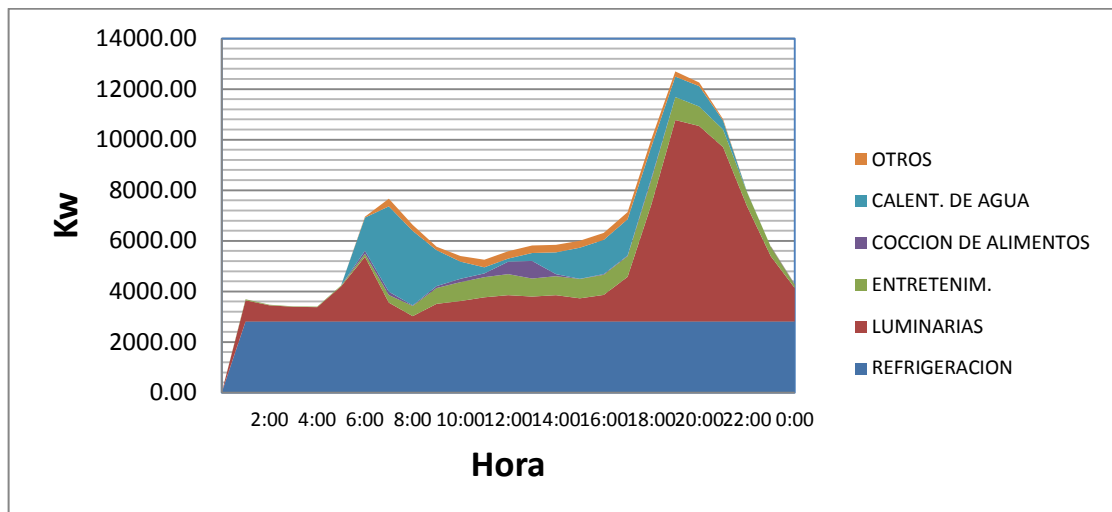
Existen dos tipos de demanda:

- Demanda máxima: Es la más grande de todas las demandas que ocurren en un intervalo de tiempo.
- Demanda Media: Es la demanda constante en un intervalo de tiempo.
- Factor de carga: Es la relación entre la demanda media y la demanda máxima

De acuerdo a datos de EERSA los usos finales de la energía se los agrupa de la siguiente manera:

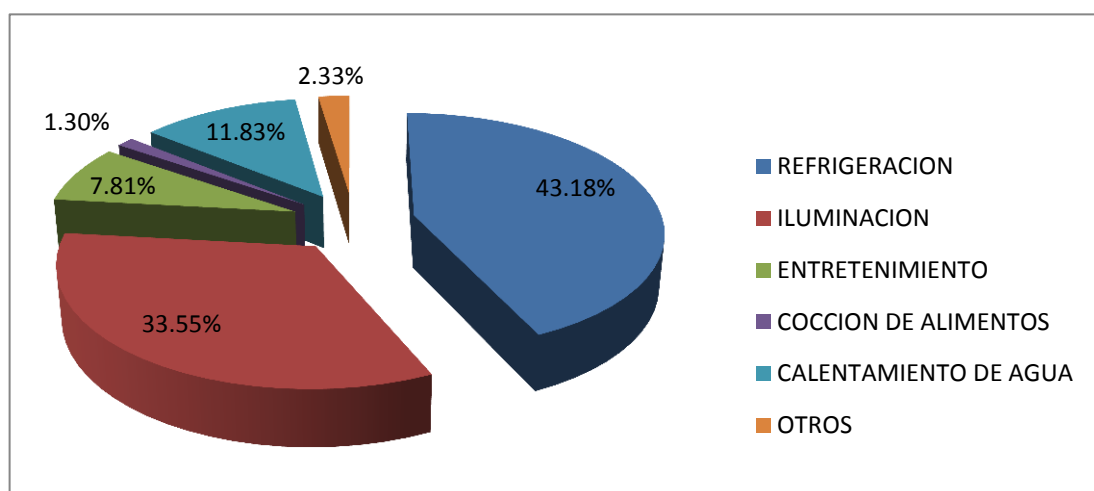
- Refrigeración
- Cocción de alimentos
- Iluminación
- Entretenimiento
- Calentamiento de agua
- Otros

Figura 33. Usos finales de la energía en un día laborable



Fuente: EERSA

Figura 34. Usos finales de la energía en un día laborable.



Fuente: EERSA

Tabla 5. Consumos kw-h/día

USO FINAL	PARTICIPACION EN EL CONSUMO RESIDENCIAL					
	DIA LABORABLE		SABADO		DOMINGO	
	kWh/DIA	%	kWh/DIA	%	kWh/DIA	%
REFRIGERACION	67512,00	43,18%	70200,00	47,08%	66587,5	46,96%
ILUMINACION	52462,03	33,55%	46113,41	30,92%	45062,7741	31,78%
ENTRETENIMIENTO	12216,52	7,81%	20223,52	13,56%	10592,7293	7,47%
COCCION DE ALIMENTOS	2028,47	1,30%	888,50	0,60%	2303,47635	1,62%
CALENTAMIENTO DE AGUA	18502,03	11,83%	7845,96	5,26%	8782,59375	6,19%
OTROS	3646,55	2,33%	3842,42	2,58%	8452,9013	5,96%
TOTAL	156367,60	100,00%	149113,81	100,00%	141781,975	100,00%

Fuente: EERSA

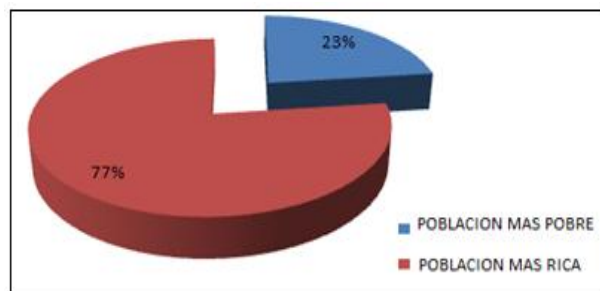
2.5.6 Análisis del Sistema a GLP en Ecuador. Se estima que en Ecuador existen unos 400 mil sistemas de agua caliente sanitaria funcionando con GLP, con un consumo promedio que varía de 1,4 a 2 bombonas de 15 kg al mes por familia, los principales usuarios están en las provincias de la sierra y principalmente en los hogares de mayor ingreso económico. El GLP es un combustible subvencionado por el estado ecuatoriano con fines de cocción, el cual es importado con un precio mayor a 90 centavos de dólar por kilogramo y vendido al público por 11 centavos de dólar el kilogramo.

Se considera que el tener ACS es una necesidad latente en los hogares que aún carecen de este y que tan pronto aumenta su capacidad adquisitiva aumenta también la probabilidad de dotarse de este recurso, esto significa que los consumos de GLP tienden a aumentar con el crecimiento del PIB.

Se debe considerar que la mayor parte del agua caliente para bañarse se utiliza en las horas pico de consumo de la mañana y de la noche. Para cubrir la demanda de potencia en hora pico, la energía es generalmente suministrada por generadores que consumen combustibles fósiles, los cuales son subsidiados por el estado.

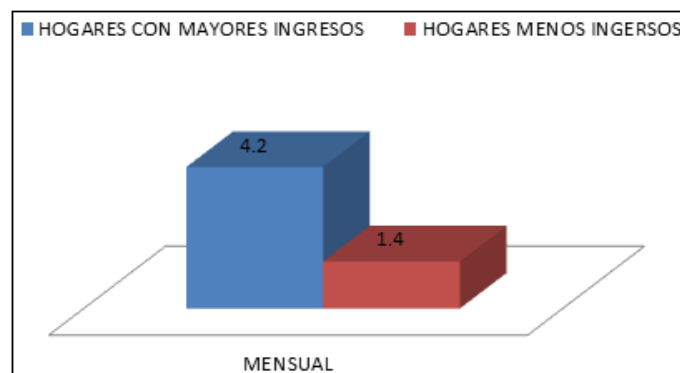
Dado el aumento de los precios internacionales de derivados de petróleo, el aumento del consumo y las subvenciones de los combustibles en el mercado nacional, los costos para el estado ecuatoriano crecen constantemente.

Figura 35. Porcentaje de beneficiarios del subsidio a gas en Ecuador



Fuente:MEER

Figura 36. Consumo de tanques de gas por sector socio económico mensual



Fuente: MEER

2.5.7 Evaluación de sistemas empleados en Ecuador para calentamiento de agua

- El sistema de calentamiento de agua para uso residencial por colectores solares muestra un problema general que es inestable debido a la variación de radiación solar durante el día y a condiciones de demanda y entorno.
- El sistema eléctrico a través de duchas tienen un costo de consumo alto debido a que poseen una potencia mínima de 4 kw-h.
- El sistema a gas, calefones representan un gasto exagerado para el estado debido a que el GLP es financiado en gran parte por este.
- El costo del equipo e instalación para el sistema solar es el más costoso, a diferencia de una ducha eléctrica que es muy barata, y el calefón tiene un costo accesible.

2.6 Reglamento para la implementación de colectores solares

[15]

NORMA ECUATORIANA DE CONSTRUCCIÓN

NEC-11 CAPÍTULO 14 ENERGÍAS RENOVABLES

Para la elaboración de la presente Norma Técnica, se han consultado las siguientes normativas:

14.1.6.1 NMX-ES-001-NORMEX-2005

Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación (NORMEX), Subcomité de Calentadores Solares. “ENERGIA SOLAR- RENDIMIENTO TERMICO Y FUNCIONALIDAD DE COLECTORES SOLARES PARA CALENTAMIENTO DE AGUA- METODOS DE PRUEBA Y ETIQUETADO”, vigencia a partir del 14 de octubre de 2005, México DF.

14.1.6.2 NADF-008-AMBT-2005

Secretaría de Medio Ambiente. “NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR EN EL CALENTAMIENTO DE AGUA EN ALBERCAS, FOSAS DE CLAVADOS, REGADERAS, LAVAMANOS, USOS DE COCINA, LAVANDERIA Y TINTORERIA”, expedida el 14 de diciembre de 2005, México DF.

14.1.6.3 DOCUMENTO ANC-0603-17-01

Unidad De Planeación Minero Energética (UPME) – ICONTEC - AENE, “ANTEPROYECTO DE NORMA - SISTEMAS DE CALENTAMIENTO SOLAR

DOMESTICO DE AGUA (TRANSFERENCIA DE CALOR DE UN LIQUIDO A OTRO)”, Bogotá, marzo 2003.

14.1.6.4 DOCUMENTO ANC-0603-13-01

Unidad De Planeación Minero Energética (UPME) – ICONTEC – AENE, “GUIA DE ESPECIFICACIONES DE SISTEMAS DE CALENTAMIENTO DE AGUA PARA USO DOMESTICO CON ENERGIA SOLAR EN COLOMBIA”, Bogotá, marzo 2003.

14.1.6.5 PROY-NMX-ES-002-NORMEX-2006

Subcomité de Terminología; del Comité Técnico de Normalización Nacional para Energía Solar, NESO-13, coordinado por la Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación S.C., “ENERGIA SOLAR – DEFINICIONES Y TERMINOLOGIA”, fecha de emisión 20 de septiembre de 2006.

14.1.6.6 CTE HE4

Ministerio de Fomento de España, Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo, “DOCUMENTO BASICO HE DE AHORRO DE ENERGIA: APORTACION MINIMA DE AGUA CALIENTE SANITARIA”, Madrid, noviembre 2003.

14.1.6.7 S/N

Agencia d’ Energía de Barcelona. “MODIFICACIO INTEGRAL DE L’ANNEX SOBRE CAPTACIO SOLAR TERMICA DE L’ORDENANCA GENERAL DE MEDI AMBIENT URBA”, aprobada Barcelona el 24 de febrero del 2006; 2_2 Text Modificación de l’OST, versión aprobada finalmente.

14.1.6.8 ANM 2003\3

Ayuntamiento de Madrid. “ORDENANZA SOBRE CAPTACION DE ENERGIA SOLAR PARA USOS TERMICOS”, Ordenanza Municipal 27/03/2003, publicaciones BO Comunidad de Madrid 09-05- 2003, num. 109, pag. 85-88.

14.1.6.9 IDAE PET-REV OCTUBRE 2002

IDAE/INTA. Convenio Para el Impulso Tecnológico de la Energía Solar “PLIEGO DE CONDICIONES TECNICAS DE INSTALACIONES DE BAJA TEMPERATURA”, Madrid, octubre 2002.

14.1.6.10 NTE INEN 0:1990

Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 0:1990 - ESTRUCTURA Y PRESENTACION DE DOCUMENTOS NORMATIVOS – REQUISITOS”, primera edición, Quito, 17 de mayo de 1990.

14.1.6.11 NTE INEN 1000:2008

Instituto Ecuatoriano de Normalización, “NORMA TECNICA ECUATORIANA NTE INEN 1000:2008, - ELABORACION, ADOPCION Y APLICACION DE REGLAMENTOS TECNICOS ECUATORIANOS, primera revisión, 31 de octubre de 2008.

14.1.6.12 UNE-EN 12975

Publicadas por la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).
UNE-EN 12975-1:2006. Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares.
Parte 1:

Requisitos generales, año 2001. UNE-EN 12975-2:2006. Sistemas solares térmicos y componentes. Captadores solares.

Parte 2:

Métodos de ensayo, año 2003. UNE-EN 12976-1:2006. Sistemas solares térmicos y sus componentes. Sistemas prefabricados.

Parte 1: Requisitos generales, año 2006.

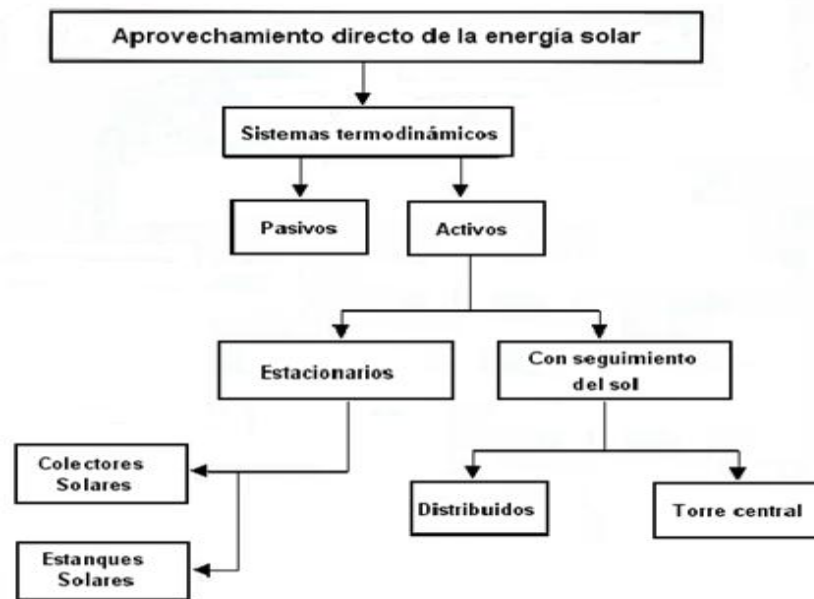
UNE-EN 12976-2:2006. Sistemas solares térmicos y componentes. Sistemas prefabricados.

Parte 2: Métodos de ensayo, año 2006.

2.7 Colectores solares

2.7.1 Energía solar térmica. El aprovechamiento directo de la energía solar da lugar a sistemas termodinámicos solares, que se clasifican de acuerdo a su aplicación (calefacción o calentamiento) en activos y pasivos.

Figura 37. Sistemas termodinámicos de aprovechamiento de la energía solar



FUENTE: www.aprean.com/energia-solar-termica.html

Sistema pasivo: Este sistema está encaminado a la climatización de espacios (orientación de ventanas, instalación de persianas e incorporación de materiales cerámicos) y no se requiere necesariamente la intervención de instalaciones solares. Debido a ello no será objeto de análisis en la presente tesis

Sistema activo: Buscan la instalación de equipos para la captación y acumulación de la radiación solar, para aprovecharla en aplicaciones como son: la generación de agua caliente para uso sanitario, calefacción de hogares y generación de energía eléctrica.

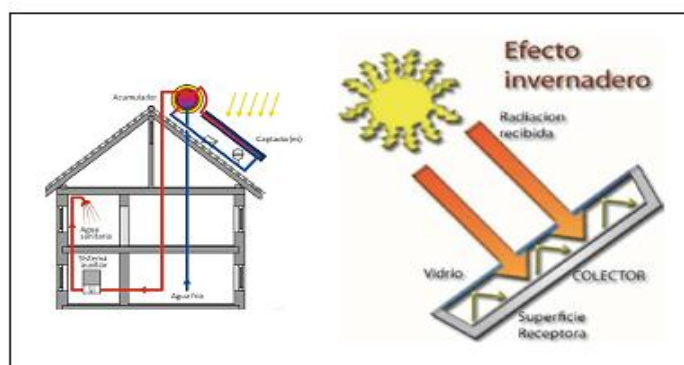
El aprovechamiento de la energía solar para la obtención de agua caliente, que es el objeto de esta tesis, implica la ejecución de tres procesos, que son:

- Captación de la radiación solar mediante un colector, para elevar la temperatura del agua que circula en su interior,
- Acumulación del fluido calentado por medio de un depósito (acumulador), para usarlo en el momento que sea necesario, e.
- Incorporación de un medio de apoyo (sistema automático), para mantener la temperatura del agua cuando la radiación solar no sea suficiente.

Dado lo anterior se tiene que: una instalación solar térmica basa su funcionamiento en la captación de la energía solar para el calentamiento de un fluido que circula en el interior de un colector.

2.7.2 Análisis de sistemas por Colectores Solares. Un colector solar es un dispositivo que absorbe la energía proveniente del sol, la convierte en energía térmica (calor) y utiliza dicha energía para calentar un fluido. La energía solar, puede ser utilizada para calentar agua, para sistemas de calefacción o para climatización de piscinas.

Figura 38. Aprovechamiento energía solar



Fuente: <http://www.energy-spain.com/energia-solar/animacion-energia-solar>

2.8 Tipos de colectores solares

Según la norma de construcción de Ecuador los clasifica en:

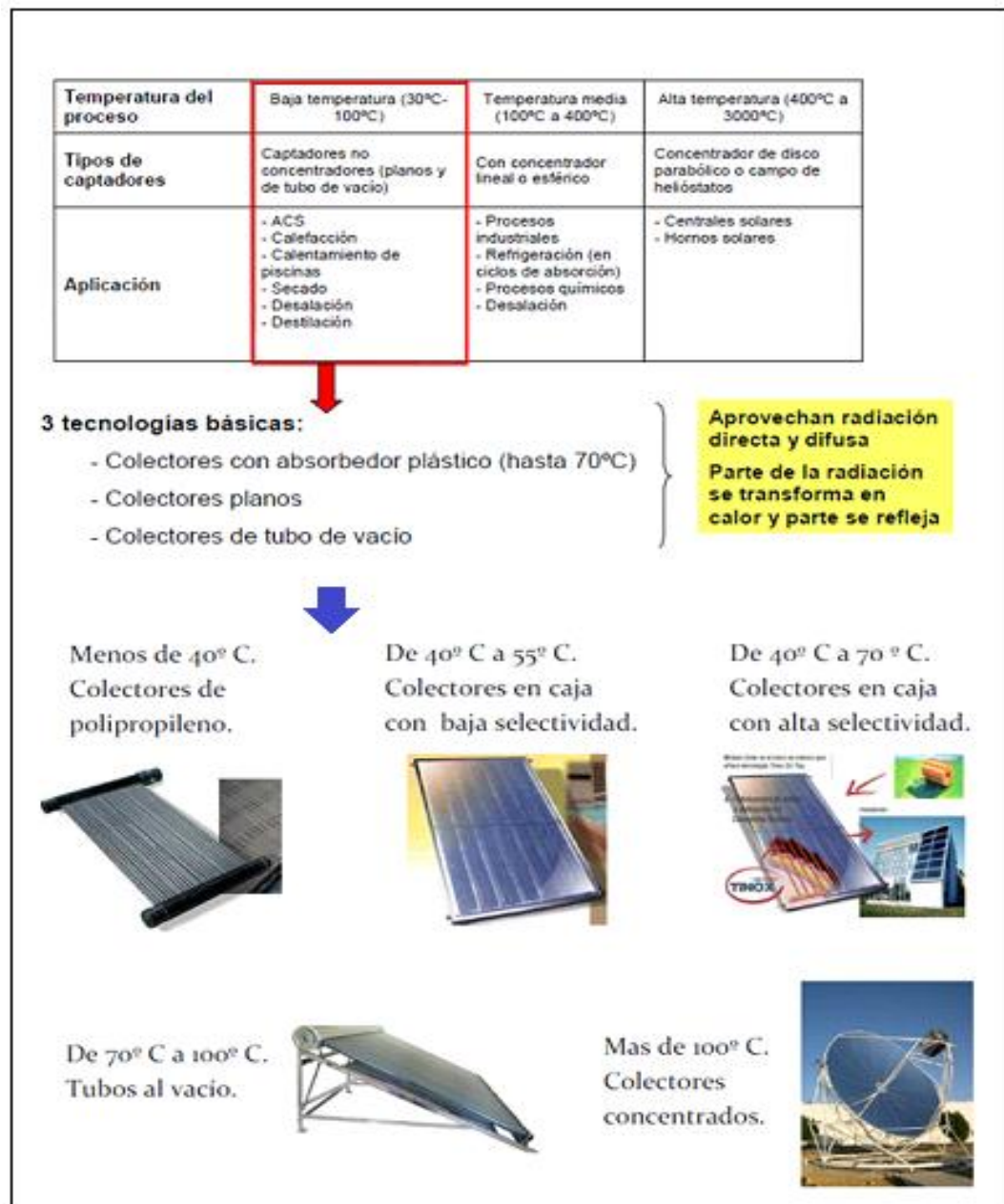
- SST con o sin fuentes auxiliares para calentamiento del agua.
- SST con circulación por diferencia de densidades (termosifón) o por circulación forzada.
- SST con almacenamiento directo del agua caliente sanitaria.
- SST con colectores planos o de tubos de vacío.
- SST abiertos o cerrados en relación a la presión de trabajo.
- SST verticales u horizontales, según la posición del tanque de reserva.
- SST centralizados o distribuidos, en aplicaciones masivas.
- SST manométricos o por gravedad
- SST con fluido anticongelante, con intercambiador de calor.

Se destaca el hecho que esta clasificación es indicativa y no limitante.

La verificación del rendimiento y homologación, es aplicable a todos los tipos de sistemas y colectores.

Según el rango de temperaturas de trabajo

Figura 39. Clasificación según rango de temperaturas.



Fuente: <http://www.energy-spain.com>

Clasificación según el sistema de instalación:

Termosifón

- Simplifica la instalación al eliminar el grupo de control. La circulación del fluido caloportador en el primer se produce por un efecto natural(termosifón)
- Son posibles sistemas abiertos(directos) o cerrados(indirectos)
- Disponibles en depósitos de aluminio o vitrificado. Y en depósitos cuadrados o redondos

Circulación forzada

- Asegura el suministro de agua caliente de A.C.S
- La instalación solar sirve de apoyo a la caldera.

Clasificación Según el diseño:Un colector necesita ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la temperatura del fluido que debe proporcionar, para la aplicación prevista y de acuerdo al clima del lugar en el cuál va a estar emplazado. Un colector diseñado para aplicaciones en las que se necesitan fluidos a alta temperatura no resulta más eficiente cuando operan a bajas temperaturas.

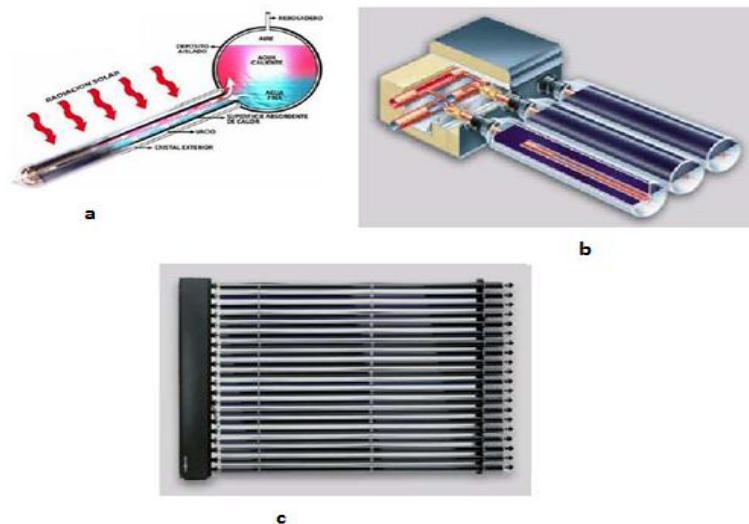
- Colectores de placa plana con cubierta (Glazed flat-platecollectors)
- Colectores Concentradores Parabólicos Compuestos (CPC) Estacionarios
- Colectores de placa plana sin cubierta (Unglazed flat-platecollectors)
- Colectores de tubos de vacío (Evacuated-tubecollectors)

Para la presente tesis se empleara un colector de tubos de vacío por el cual se describe a continuación.

2.8.1 *Colectores de tubos de vacío.* Estos colectores se componen de un conjunto de tubos de vacío (o evacuados) cada uno de los cuales contienen un absorbedor (generalmente una plancha de metal con tratamiento selectivo o de color negro), el cual recoge la energía solar y la transfiere a un fluido portador (calo-portador). Gracias a las propiedades aislantes del vacío, las pérdidas de calor son reducidas y pueden alcanzarse temperaturas en el rango de 77 °C a 177 °C. De esta manera, este tipo de colectores resultan particularmente apropiados para aplicaciones de alta temperatura.

Por su forma cilíndrica, aprovechan la radiación de manera más efectiva que los colectores planos, al permitir que los rayos de sol incidan de forma perpendicular sobre los tubos durante la mayor parte del día. Estos colectores son hasta unos 30% más eficientes que los colectores planos, pero son bastante caros, por unidad de superficie suelen costar aproximadamente el doble que un colector de placa plana. Están bien adaptados para aplicaciones industriales de calefacción y también puede ser una alternativa eficaz a los colectores de placa plana para la calefacción doméstica, especialmente en regiones donde hay poca radiación o escasa heliofanía.

Figura 40. Colector Solar de Tubos al Vacío de flujo directo a). Principio de Funcionamiento b). Esquema de Conexión c). Imagen.

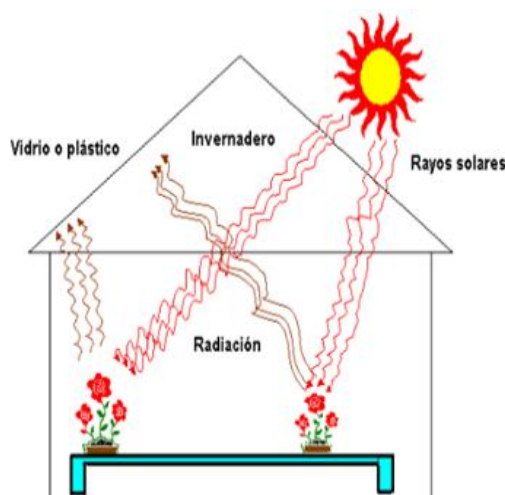


Fuente: <http://www.energy-spain.com>

2.9 Principios de funcionamiento de colectores solares

Las tecnologías solares térmicas de bajas temperaturas, especialmente las que no generan electricidad, se basan en los principios científicos del “efecto invernadero” para generar calor. La radiación electromagnética del sol, incluyendo las ondas visibles e infrarrojas, penetra en los paneles solares y son absorbidas por las superficies de este. Una vez que la radiación es absorbida por las superficies del panel, la temperatura incrementa. Este incremento en temperatura puede ser utilizado para calentar agua, aire, secar alimentos, desalinizar agua, y cocinar comida.

Figura 41. Esquematación del efecto invernadero

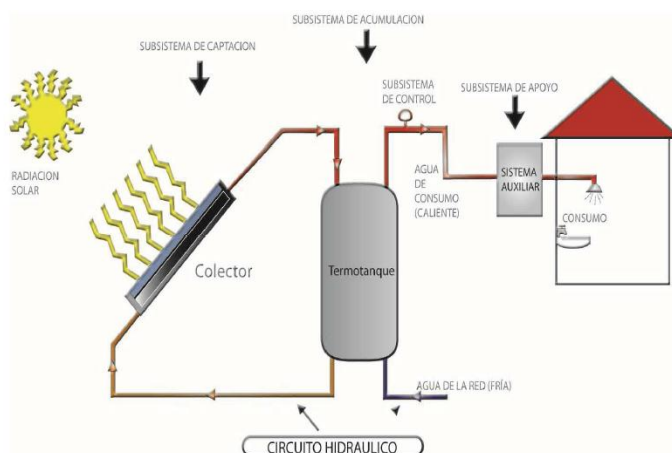


Fuente: <http://www.energy-spain.com>

Un colector necesita ser seleccionado cuidadosamente de acuerdo a la temperatura del fluido que debe proporcionar, para la aplicación prevista y de acuerdo al clima del lugar en el cuál va a estar emplazado. Un colector diseñado para aplicaciones en las que se necesitan fluidos a alta temperatura no resulta más eficiente cuando operan a bajas temperaturas.

Un SST para calentamiento de agua para uso doméstico, está conformado por los siguientes componentes principales: un colector solar, un tanque de almacenamiento, un sistema de control, las acometidas hidráulicas con los elementos de seguridad y un sistema de apoyo (ver Figura 42).

Figura 42. Sistema para calentamiento de agua de uso residencial



Fuente: <http://www.energy-spain.com>

El colector solar capta y transforma la energía radiante del sol en calor, el cual se transfiere al fluido de trabajo por conducción. Este fluido se mueve entre el tanque de reserva y el colector, por diferencia de temperatura, de forma natural o forzada. Cuando hay consumo de agua caliente, esta es reemplazada por agua fría de la red que alimenta al tanque termosolar. En un sistema de termosifón, para que el sistema opere de forma automática el tanque debe estar por encima de la parte más alta del colector. Las condiciones de diseño de un SST deben involucrar aspectos tales como:

- Aprovechar de forma óptima el recurso solar disponible.
- Ser dimensionado de acuerdo al consumo requerido de agua caliente.
- Todos los elementos que componen el sistema, incluidos los ductos y accesorios, deben estar contruidos para asegurar un desempeño eficiente, confiable y seguro durante la vida útil prevista para cada uno de ellos.
- Ser diseñado para que la integración de sus partes no requiera de asistencia técnica por largos periodos.
- Ser diseñado para soportar la acción del ambiente local.
- Si en el diseño del SST se incluye complemento auxiliar de energía, se sugiere que tenga funciones automáticas para que todo el conjunto opere autónomamente

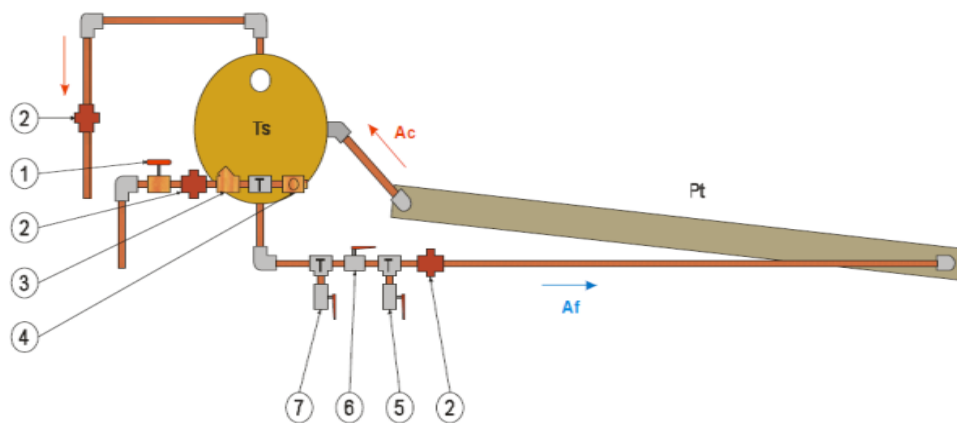
2.9.1 Descripción general de componentes.Una instalación de calentamiento de agua para uso doméstico, tiene tres subsistemas esenciales:

- **Sistema de captación**, formado por los colectores solares, encargados de transformar la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se caliente el fluido de trabajo (generalmente agua) que circula por ellos.
- **Sistema de acumulación**, constituido por el acumulador, encargado de almacenar el agua caliente.
- **Sistema de apoyo**, energía convencional auxiliar, que sirve para complementar la contribución solar suministrando la energía necesaria para cubrir la demanda prevista, garantizando la continuidad del suministro de agua caliente en los casos de escasa radiación solar o demanda superior a la prevista. A estos sistemas esenciales se suman sistemas secundarios que permiten el funcionamiento eficaz del sistema total, como son:

- **Circuito hidráulico**, constituido por las tuberías, bombas, válvulas, etc., que se encarga de establecer el movimiento del fluido del sistema.
- **Sistema de regulación y control**, que se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del equipo para proporcionar la máxima energía solar térmica posible y que actúa como protección frente a la acción de factores como sobrecalentamiento y otros.

Los SST de termosifón se componen de los siguientes elementos, que se muestran en la siguiente figura.

Figura 43. Componentes de un SST de termosifón de placa plana.



Fuente: NEC

SIMBOLOGÍA

Pt Panel colector de energía solar térmica

Ts Tanque termosolar para almacenamiento de la energía térmica (agua caliente).

1 Válvula de compuerta para el acceso de agua fría al tanque.

2 Unión universal.

3 Válvula check.

4 Válvula de seguridad de 80 PSI.

5 Válvula de paso reducido para mantenimiento de los colectores solares.

6 Válvula de paso completo para el funcionamiento normal del equipo solar.

7 Válvula de paso reducido para el mantenimiento del tanque termosolar.

AF Agua fría.

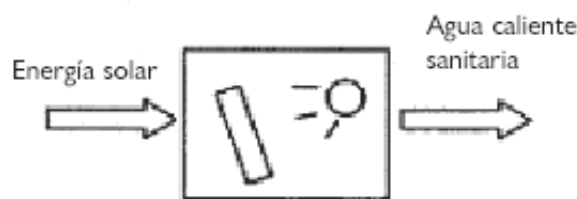
AC Agua Caliente.

2.10 Características de colectores solares:

- Son módulos que aprovechan la energía de la radiación solar que llega a la Tierra, convirtiéndola en calor (conversión foto térmica).
- Son utilizados para producir energía (agua caliente, usualmente doméstica) a través del calentamiento de un fluido sin residuos contaminantes.
- Dependiendo de la estación del año, tanto en viviendas unifamiliares como en edificios, las instalaciones de energía solar térmica proporcionan habitualmente entre el 30% y el 100% del agua caliente demandada.
- La selectividad es un tratamiento electro-químico que consiste generalmente en una capa de cromo negro sobre níquel, ambos sobre la placa captadora (generalmente de cobre-cobre, de cobre-aluminio o de acero). Este tratamiento permite aumentar notablemente las prestaciones del colector solar, con la finalidad de que tengan una superficie con alto coeficiente de absorción y bajo coeficiente de reflexión hasta una temperatura de 250°C.

2.10.1 Colectores solares por circulación natural. En estos sistemas no hay elementos de tipo electromecánico: el motor de la circulación natural es directamente la energía solar.

Figura 44. Esquema de la circulación natural



Fuente: www.conae.gob.

Todos los sistemas de circulación natural se basan en el principio por el que el fluido del circuito primario, calentado por el sol, disminuye su densidad, se vuelve más ligero y asciende, provocando un movimiento natural del fluido mismo.

En los sistemas de circulación natural el depósito de acumulación del agua tiene que estar siempre colocado más arriba del panel y a poca distancia del mismo, aunque

también existen sistemas con el depósito colocado detrás del panel. Asimismo, las tuberías de enlace entre el panel y el depósito tienen que mantener la misma inclinación.

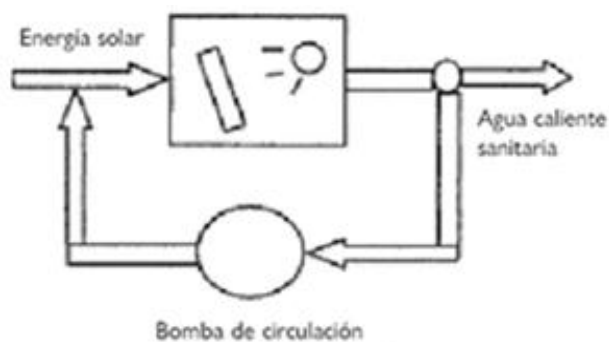
Ventajas de la circulación natural

Los sistemas de circulación natural tienen las siguientes ventajas:

1. Velocidad de intercambio térmico proporcional a la diferencia de temperatura entre el depósito de acumulación y los paneles.
2. Ninguna circulación invertida durante la noche.
3. Autorregulación de la circulación.
4. Ausencia de bombas de circulación, centralitas y sondas.
5. Montaje rápido y económico.
6. Mantenimiento reducido al mínimo.
7. Garantía del sistema en su totalidad.

2.10.2 Colectores solares por circulación forzada. En este sistema el fluido, contenido en el colector solar, fluye en el circuito cerrado por efecto del empuje de una bomba comandada por una centralita o termostato que se activa, a su vez, por sondas colocadas en el colector y en el depósito.

Figura 45. Sistema de circulación forzada



Fuente: www.conae.gob.

Los elementos que forman un sistema de este tipo son:

- colector/es solar/es;
- depósito de acumulación/intercambiadores;
- termostato diferencial o centralita;

- sondas de temperatura;
- bomba de circulación;
- vaso de expansión;
- intercambiador de calor;
- válvulas

Es evidente que en un sistema de circulación forzada, el proyecto no se limita al cálculo de la superficie de los colectores solares, sino que es necesario dimensionar también los demás componentes del sistema.

2.11 Rendimiento térmico en los colectores solares

Un panel solar térmico permite producir agua caliente sanitaria de manera ecológica y rentable, y se comporta como cualquier máquina al devolvernos de forma útil solo una parte de la energía que recibe. Su forma constructiva también es determinante para la mayor o menor captación de calor.

El rendimiento que proporciona un colector en un determinado momento es expresado de la siguiente forma:

$$n = \frac{\text{CALOR UTIL}}{\text{CALOR ADMITIDO}} (100) \quad (1)$$

Este comportamiento mide la relación entre la energía útil que existe y la recibida en el captador (sumado perdidas), buscando así el indicador de rendimiento.

2.11.1 Tabla comparativa de varios paneles solares.En la siguiente tabla se compara el rendimiento de los distintos tipos de paneles solares térmicos:

Tabla 6. Comparación de paneles solares

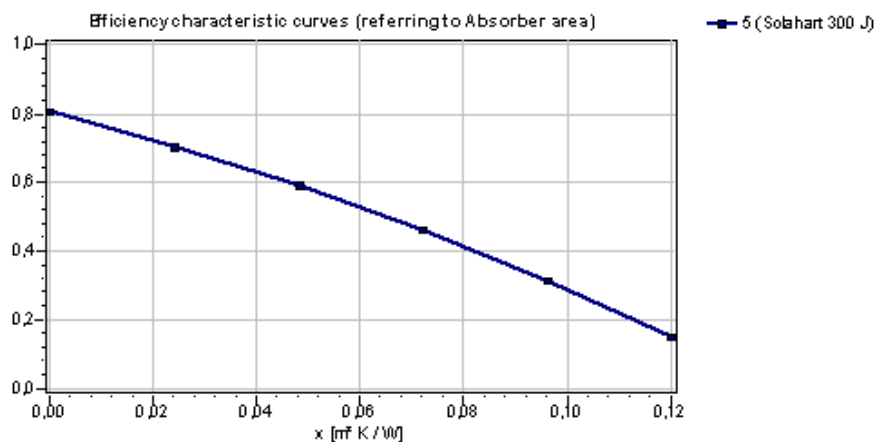
	PANEL SOLAR TÉRMICO			
	CAPTADORES DE AGUA			CAPTADORES DE AIRE
	NO VIDRIADOS MOQUETA	PLANOS	DE VACÍO	
Producción eléctrica	-	-	-	-
Calentar agua sanitaria	*	***	***	-
Calentar un espacio	*	***	***	***
Calentar el agua de la piscina	***	*	*	*
Vida útil	De 7 a 12 años			

Fuente: www.cec.es

2.12 Eficiencia en un colector solar

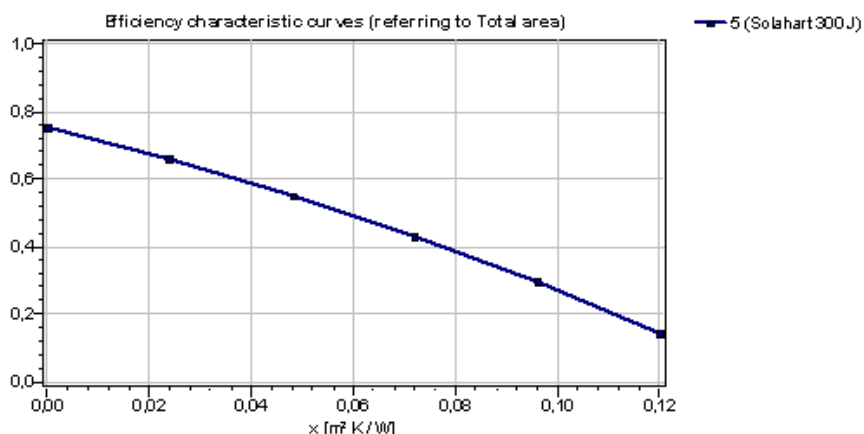
La eficiencia se define como la relación entre la energía absorbida (densidad de energía) por el fluido portador del calor y la energía incidente (densidad de energía solar) sobre su superficie. A continuación se muestran dos gráficos típicos de eficiencia:

Figura 46. Curva característica de eficiencia (referida al área de absorción)[16]



Fuente: www.cec.es

Figura 47. Curva característica de eficiencia (referida al área total)



Fuente: www.cec.eu

El significado de los valores del eje horizontal es el siguiente:

Abcisas = DT / G

DT: Diferencia entre temperatura ambiente y temperatura del colector

G: Radiación solar térmica

En la práctica, los valores del eje horizontal se pueden interpretar, de una forma aproximada, de la siguiente manera:

- Eje horizontal = 0,02 \rightarrow 20 °C de diferencia de temperatura entre el colector y el ambiente
- Eje horizontal = 0,04 \rightarrow 40 °C de diferencia de temperatura entre el colector y el ambiente
- Eje horizontal = 0,06 \rightarrow 60 °C de diferencia de temperatura entre el colector y el ambiente

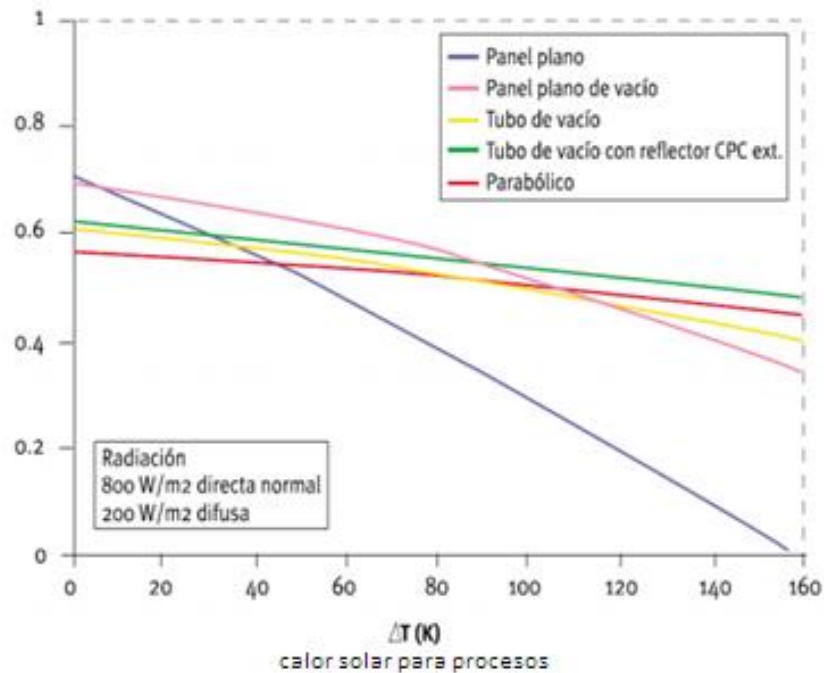
En el análisis de un gráfico de eficiencia, hay que dar especial importancia al área del colector:

1. sólo el área de la placa captadora –figura 46
2. área total del colector -figura 47

Esta distinción es especialmente importante en la comparación de las eficiencias de los colectores solares planos y las de los colectores solares de vacío.

2.12.1 Eficiencia de Diferentes Tipos de Colectores

Figura 48. Eficiencia de varios colectores solares



Fuente: www.cec.eu.es

La ordenada al origen da el rendimiento considerando solamente el valor de las pérdidas ópticas, mientras que la pendiente, nos informa acerca de las pérdidas térmicas. Por lo tanto una pendiente mayor implica mayores pérdidas térmicas y una ordenada al origen menor, más pérdidas ópticas.

2.13 Calefones

Un calefón es un dispositivo termodinámico que utiliza energía para elevar la temperatura del agua. Entre los usos domésticos y comerciales del agua caliente están la limpieza, las duchas, para cocinar o la calefacción. A nivel industrial los usos son muy variados tanto para el agua caliente como para el vapor de agua.

Figura 49. Calefón domestico.

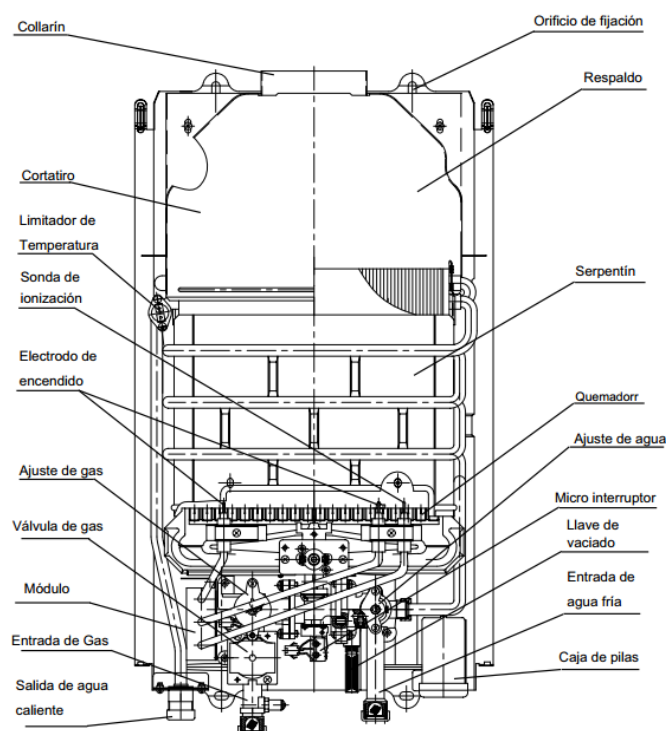


Fuente: www.instalaciondeaires.com

Entre los combustibles utilizados se encuentran el gas natural, gas propano (GLP), querosén y el carbón, aunque también se usan la electricidad, la energía solar, bombas de calor (compresor) de refrigeradores o de acondicionadores de aire, calor reciclado de aguas residuales (no aguas negras) y hasta energía geotérmica. En el caso de las aguas calentadas con energías alternativas o recicladas, éstas usualmente se combinan con energías tradicionales. La mayor ventaja de utilizar calefones, es la disponibilidad de agua caliente de forma instantánea, sin interrupciones y a un costo energético mucho más bajo que el eléctrico.

2.13.1 Estructura y partes

Figura 50. Calefón – estructura[17]



Fuente: Bosch

2.14 Tipos de calefones

Los calentadores instantáneos de gas se clasifican según la cámara de combustión y sus potencias:

2.14.1 De acuerdo a la cámara de combustión

a) Calefón tiro natural: Es un calefón de cámara abierta que consume oxígeno del interior y larga el monóxido de carbono al exterior.

b) Calefones tiro balanceado: Es un calefón de cámara estanca que consume oxígeno y larga monóxido de carbono al exterior.

2.14.2 De acuerdo a sus potencias[18]

a) Pequeños, denominados calienta-aguas, de potencia igual o inferior a 125 Kcal/min, adecuados para un solo punto de agua (lavabo, ducha, fregadero, etc.), y eventualmente para dos puntos de agua (2 lavabos, fregadero y lavabos, etc.). Pero no son adecuados para baños. Pueden suministrar un caudal máximo de 5 l/min a 40 °C o bien, 2,5 l/min a 60°C.

b) Medianos, denominados calienta-baños, de potencia útil superior a 125 kcal/min e inferior a 400 kcal/min. Pueden servir agua caliente a una instalación media, de un baño normal o aseo de uno a tres lavabos, un fregadero, un bidé y una lavadora, pudiendo ofrecer un caudal máximo de 10 l/min a 40°C, o bien 5 l/min, a 65°C, con una potencia de 250 kcal/min; o un caudal máximo de 13 l/min, a 40°C, con una potencia de 325 kcal/min. Éstas son las dos potencias más usuales, sirviendo con esta última para los aparatos sanitarios completos de una vivienda normal (un solo cuarto de baño).

c) Grandes, con una potencia útil superior a 400 kcal/min que sirven para distribuciones completas de viviendas con más de un cuarto de baño. Necesitan una presión mínima del agua (5 m.c.a), por bajo de la cual la válvula del gas no se abre y el calentador no funciona.

2.15 Principios de funcionamiento de calefones[19]

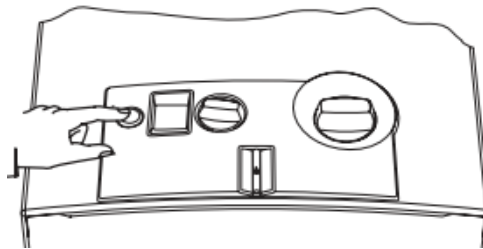
Para que el calefón funcione con una debida presión, debe haber como mínimo 2,20 m desde la base del tanque y la camilla más cercana. Además para graduar la temperatura

del agua, lo correcto es bajando la intensidad de la llama a través de la perilla central del calefón, de lo contrario estará consumiendo excesiva cantidad de gas y también acortar la vida útil de la camisa del calefón.

Es muy fácil la puesta en marcha del calefón, ya que el mismo está equipado con ignición electrónica. Para tal fin seguiremos los siguientes pasos:

1. Introducir las dos baterías LR 20 de 1,5 V en la caja que posee el calefón para dicho fin.
2. Abrir la llave del gas y la llave del agua.
3. Conectar el interruptor, tal como se muestra en la figura siguiente.

Figura 51. Panel de control calefón.



Fuente: Bosch

Después de este procedimiento abrir el grifo de agua, lo cual provoca el encendido, enciende primero el quemador piloto, después el quemador principal, el quemador piloto se apaga cerca de diez segundos después.

De este modo se obtiene un ahorro energético considerable ya que el quemador piloto funciona el tiempo mínimo necesario hasta la ignición del quemador principal.

4. Control de la potencia:
 - Agua menos caliente. Disminuye la potencia máxima.
 - Agua más caliente. Aumenta la potencia máxima.
5. Regulación de la temperatura/caudal:

Esto se consigue girando la perilla según la necesidad, así:

- Si se aumenta el caudal, disminuye la temperatura.
- Si disminuye el caudal, aumenta la temperatura.

El calor que desprenden los quemadores, una vez encendidos, es absorbido por el agua que circula por el serpentín, calentándose ésta de una manera continua, según va saliendo para el consumo.

2.16 Comparación de rendimiento y eficiencia energética[20]

Según lo que establece la norma NTE INEN 2187 (3.1.7 Gasto nominal), los calefones tienen un rendimiento convencional que varía de acuerdo al poder calorífico del GLP, es decir, que si el poder calorífico es inferior su rendimiento será de 0,84 y si su poder calorífico es superior su rendimiento es 0,75.

Sin embargo de acuerdo a pruebas experimentales realizadas por PETROINDUSTRIAL el poder calorífico obtenido del GLP comercial es un valor promedio que cumple con los requerimientos normados. Por ello se trabajará, también, con una eficiencia promedio de las antes mencionadas. El rendimiento de los calefones es por tanto 0,795 \approx 0,80.

2.17 Sistemas auxiliares para colectores solares

Las instalaciones de energía solar térmica son elementos cada vez más presentes en el paisaje construido y son promovidas por normativas como las ordenanzas solares o el reciente Código Técnico de la Edificación. Así tenemos algunos otros componentes de estas instalaciones:

- **Depósito de agua caliente**

Conserva caliente el agua producida por los paneles solares durante un tiempo limitado, normalmente entre 1 y 4 días en el caso de sistemas pequeños.

Un buen depósito debe tener una alta capacidad calorífica, un volumen adecuado, responder de manera rápida a la demanda, integrarse bien en el edificio, ser accesible económicamente, ser seguro, y tener larga duración. Suelen tener forma cilíndrica lo cual facilita el fenómeno de estratificación. Se construyen en acero,

acero inoxidable, aluminio, fibra de vidrio reforzado y plásticos. El tamaño del depósito deberá ser de 30 a 60 litros por m² de panel solar en sistemas pequeños.

Para sistemas unifamiliares es posible utilizar la siguiente regla: 50 litros de depósito por persona + 50 litros. Es decir que, en la gran mayoría de los casos, el depósito estaría en aproximadamente 200-300 litros.

- **Bombas o electrocirculadores**

Estos elementos facilitan el transporte del fluido caloportador desde los colectores hasta el almacenamiento y luego al punto de consumo. Son accionados por un motor eléctrico que suministra al fluido la energía necesaria para transportarlo por el circuito a una determinada presión. Hay tres tipos de electrocirculadores centrífugos:

- Rotor sumergido – Son silenciosos, requieren un bajo mantenimiento y se montan en línea con la tubería y el eje horizontal.
- Monobloc – Con el eje en cualquier posición.
- Acoplamiento motor – Electrocirculador de ejes distintos, son más ruidosos.

El circuito va precedido de un filtro para evitar que entren impurezas procedentes de las soldaduras y del resto de la instalación hasta la llegada a la bomba.

- **Válvulas y otros componentes**

Para evitar que el líquido anticongelante circule en la dirección opuesta cuando el sistema está apagado, se monta una válvula de paso de sentido único o una electroválvula. Esta válvula antirretorno evita retrocesos del fluido caloportador desde el colector a la bomba causados por la convección natural.

Otro elemento muy importante del sistema es el vaso de expansión que absorbe las dilataciones del agua en las instalaciones de agua caliente sanitaria. Cuando crece la presión en la instalación debido a la dilatación del fluido caloportador (aumento de temperatura), el fluido sobrante entra en el vaso y empuja la membrana. El gas utilizado (nitrógeno, que no oxida ni estropea la membrana) se comprime, evitando así variaciones de presión en el circuito.

Las instalaciones también disponen de un purgador que extrae el aire que se pueda formar dentro de las conducciones, así como de un grifo mezclador a la salida del acumulador para permitir la mezcla de agua fría con la procedente del colector, para evitar el riesgo de quemaduras en momentos en que el colector alcance temperaturas muy elevadas.

- **Líquido anticongelante**

Un líquido ideal para transportar el calor en una instalación solar térmica debería ser anticongelante, no hervir, no corroer, ser atóxico, tener una alta capacidad calorífica y un gran coeficiente de transmisión de calor, no se debe gastar y debe ser económicamente accesible. Este líquido ideal "no existe", lo más cerca que se ha llegado a los parámetros ideales es un porcentaje del 60% de agua y un 40% de glicol (Etilenglicol o Propilenglicol).

- **Aislamiento**

El aislamiento de colectores y conducciones, incorporado por el fabricante, es necesario para reducir tanto como sea posible las pérdidas de calor y mantener la temperatura del agua calentada por el sol. Pero por otro lado, los tubos suelen ponerse muy calientes, especialmente si el sistema está parado, por lo que es necesario que el aislamiento de los tubos pueda soportar temperaturas de hasta 150° C.

2.18 KIT SOLAR auxiliar para colectores solares [21]

Un KIT SOLAR mejora la calidad de la distribución de agua caliente en calentadores, siendo al mismo tiempo compatibles con sistemas solares térmicos para preparación de agua caliente sanitaria. Su función es mantener constante, en un valor regulado, la temperatura del agua mezclada que se distribuye hacia el consumo, cuando varían las condiciones de alimentación de agua fría y caliente. Además puede funcionar de modo continuo, con las temperaturas elevadas de agua caliente provenientes del acumulador solar o del calefón.

2.18.1 Especificaciones Técnicas y Dimensionales

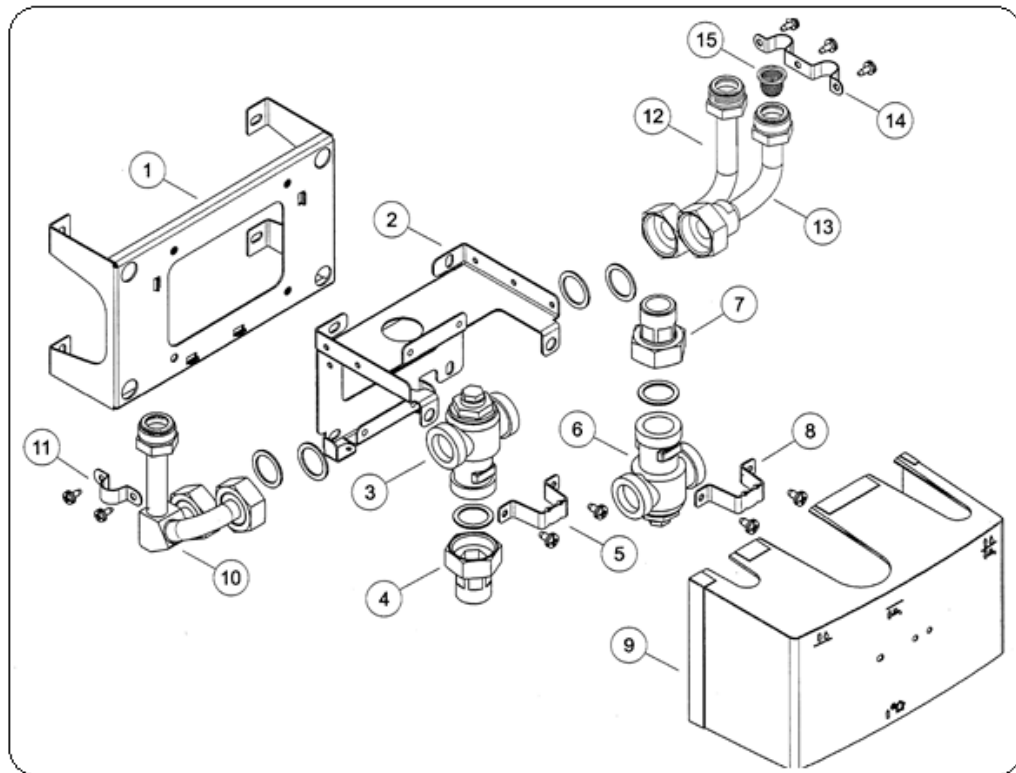
Tabla 7. Especificaciones técnicas y dimensionales del kit solar

Generalidades	Unidades	Kit Solar
Dimensiones Kit Solar con soporte de fijación	mm	224 x 197 x 198
Peso total	Kg	2.5
Temperatura de salida pre-ajustada	°C	45 ± 2
Temperatura máxima de entrada	°C	100
Mínima diferencia de temperatura entre el agua caliente y el agua fría para función anti-quemaduras	°C	10
Caudal de agua mínimo con pérdida de carga de 1 bar	l / min	10
Flujo mínimo de agua para temperaturas estables	l / min	> 4
Pérdida de carga máxima con caudal total de 20 l / min	bar	3
Presión máxima de agua, estática	bar	10
Presión máxima de agua, dinámica	bar	5
Presión mínima de agua	bar	1,4
Presión de agua recomendada	bar	2,5

Fuente: Bosch

2.18.2 Estructura y partes

Figura 52. Esquema detallado del kit solar

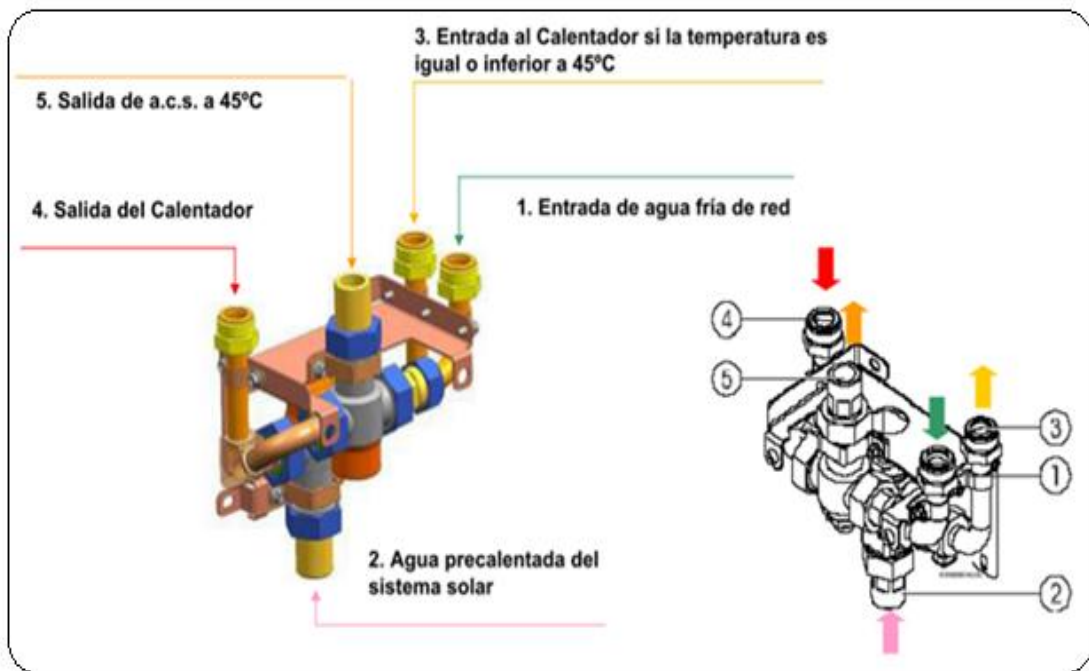


Fuente: Bosch

1. Soporte de fijación
2. Base
3. Válvula desviadora
4. Conector 1" x 3/4" con filtro de agua metálico
5. Abrazadera de válvula y dos tornillos M5
6. Válvula mezcladora
7. Conector 1" x 3/4" con filtro de agua metálico
8. Abrazadera de válvula y dos tornillos M5
9. Tapa
10. Conector de 3 vías
11. Abrazadera simple para tubo 15 y dos tornillos M5
12. Tubo para conexión al calentador
13. Conector 1" x 15 mm con anti-retorno para conexión al agua fría
14. Abrazadera doble para tubo 15 y 3 tornillos M5
15. Filtro de agua

2.18.3 Conformado de entradas y salidas de agua

Figura 53. Entradas y salidas de agua del kit solar.



Fuente: Bosch

2.18.4 Ventajas

- Evita quemaduras con agua caliente y daños a los aparatos, gracias a su función termostática mezcladora que entrega agua a 45 °C constantes,
- Con su utilización cualquier calentador puede trabajar adecuadamente con un sistema solar,
- Evita picos de temperatura causados por ciclos de encendido y apagado,
- Encendido inteligente, el aparato de apoyo (calefón) solo funciona si la temperatura del agua del sistema solar fuese inferior a 45 °C, no existiendo reducción en el caudal suministrado,
- Aumento del flujo de agua caliente del sistema cuando hace by – pass,
- Ahorros comprobados por un menor consumo de gas y costes de mantenimiento,
- Reduce emisiones contaminantes al maximizar la eficiencia de su sistema solar.

2.18.5 Principios de funcionamiento de un kit auxiliar para colectores solares. El KIT SOLAR BOSCH es un by – pass automático para operación del sistema de energía solar termosifón con el calefón. Cuando la temperatura del sistema solar es suficiente, cancela al 100 % el uso del calefón, si se acaba el agua del sistema solar termosifón, regresa de manera automática a operar con el calefón para tener siempre agua caliente con el mínimo consumo de gas.

Esta pequeña válvula no dispone de complicadas conexiones eléctricas o hidráulicas por lo que la operación de puesta en marcha es muy simple, bastando a tal efecto abrir las válvulas de paso del agua.

Después de este procedimiento, siempre que se abra un grifo de agua caliente, ocurrirá una de las siguientes situaciones:

- Si la temperatura del agua del sistema solar es superior a 45 °C, la válvula desviadora cierra la entrada de agua en el aparato de apoyo, y el agua es encaminada hacia la válvula mezcladora, para ser mezclada con agua fría de la red, a la temperatura de regulación definida.
- Si la temperatura del agua del sistema solar es inferior a 45 °C, la válvula desviadora cierra la entrada de agua en la válvula mezcladora y el agua es encaminada al aparato de apoyo, donde se aporta un incremento de temperatura. El agua resultante de ese proceso pasa después a la válvula mezcladora, donde será mezclada con agua fría, hasta alcanzar la temperatura de regulación definida.

CAPÍTULO III

3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ENERGÍA AUXILIAR AUTOMATIZADO PARA COLECTORES SOLARES Y CALEFONES

3.1 Variables de dimensionamiento del proyecto

Para el diseño del sistema solar térmico los datos de partida necesarios son:

- localización del proyecto,
- demanda energética del proyecto,
- datos climatológicos del lugar.

Para la presente investigación se toma como base la recomendación de la norma Ecuatoriana de Energías Renovables capítulo 14, la fracción solar anual será determinada de acuerdo a criterios técnicos y económicos, de conformidad con los términos de la norma empleada.

3.1.1*El proyecto.* El éxito de los sistemas de calentamiento solar de agua depende de dos factores: a) nivel de radiación solar; y b) tipo de equipo empleado para dicha instalación. La combinación de ambos factores determina el costo del sistema, el cual se reduce notablemente en zonas de alta incidencia solar.

En esta parte se presentan las variables básicas para el diseño de sistemas de calentamiento de agua. Estos criterios están basados en las experiencias acumuladas durante la evaluación de campo de un prototipo de calentador solar, así como de los fundamentos teóricos obtenidos de la recopilación bibliográfica.

3.1.2*Localización del proyecto.* El proyecto a realizarse trata de la instalación de un colector solar para suministrar agua caliente sanitaria a una planta de un edificio de 5 pisos que está localizada en la Provincia de Chimborazo en el cantón Riobamba. Se trata de aprovechar la energía solar como medio para cubrir las necesidades de agua caliente sanitaria en un salón de recepciones en el quinto piso además de una familia de tres personas. El estudio tratará de evidenciar las ventajas que conlleva el uso de la

energía aportada por el sol frente a los sistemas convencionales, ya que como se verá, supone una disminución en la cantidad de emisiones contaminantes y un ahorro económico a medio plazo. Para llevar a cabo este proyecto se deberá instalar el colector solar según la normativa vigente que establece el CTE.

El área de instalación esta distribuidas de la siguiente manera:

- 1 sala de conferencias,
- 2 baños (1 ducha),
- 1 cocina (1 lavamanos).

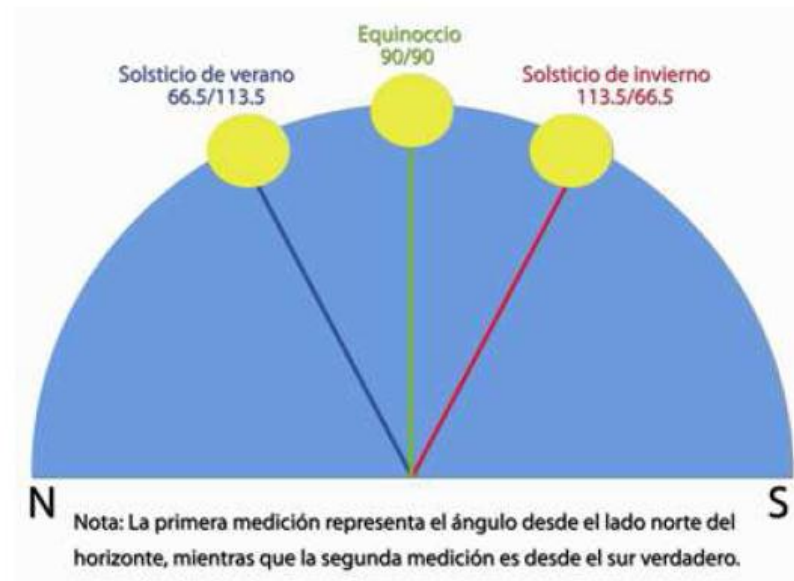
3.1.3 Recursos energéticos disponibles

3.1.3.1 Recurso energético solar. El Ecuador está ubicado entre las latitudes 1°30'N (Carchi) y 5°0'S (Zamora) y entre las longitudes 72°0'W (Salinas) y 75°10'W (Orellana) es decir al oeste del meridiano de Greenwich. El Archipiélago de Galapagos se encuentra entre las latitudes 1°40'N y 1°30'S y entre las longitudes 89°10'W y 92°0'W. Al estar atravesado por la Línea Equinoccial, el Ecuador tiene poca variabilidad en la posición del sol durante todo el año (ver Figura 54) lo cual favorece la aplicación de la energía solar para producir electricidad y calor, ya que en promedio hay 12 horas de sol durante el día. La variación en el zenit (cuando el sol esta perpendicular a la Tierra, a las 12 del día) es de +/- 23,5°, es decir que el Sol se desplaza 47° en el año entre el solsticio de verano (21 de junio) y el solsticio de invierno (21 de diciembre).

La radiación solar directa sumada con la radiación solar difusa que impacta sobre el colector solar, se ve afectada por la nubosidad del día, o lo que se conoce como índice de claridad. Un índice de claridad 1 se da en un día soleado sin nubes.

Hay que tener en cuenta también el ángulo de inclinación del colector para aprovechar la mayor cantidad de energía solar durante el año. La orientación del colector deberá ser hacia la línea equinoccial, para tener la mayor energía anual del sol.

Figura 54. Movimiento aparente del sol sobre el firmamento



Fuente: Movimiento del sol encarta

El recurso solar al ser un valor de energía se mide en Joules, es decir en watts por Segundo. Un kw-h es otra medida de la energía y 1 kw-h equivale a 3,6 MJ.

En el Ecuador no existe un registro histórico completo de radiación solar. El INAMHI tomo durante los años 1970 a 1990 algunas mediciones de heliofania o duración de brillo solar durante un día que corresponde a la radiación solar directa.

El CONELEC contrato en el año 2008 la elaboración del Mapa Solar del Ecuador, y se basa en datos tomados de sistemas satelitales del NREL (NationalRenewableEnergyLaboratory) de los Estados Unidos entre 1985 y 1991 que interpola la información a celdas de 1 km². Se muestra información sobre las insolaciones directa (isohelias a 300 w-h/m² día), difusa (isohelias a 100 w-h/m² día) y global (isohelias a 150 w-h/m² día) para cada mes del año y el promedio anual.

Con este mapa solar se ha elaborado un mapa resumen anual con la insolación global promedio anual agrupada en cinco Zonas I a V en kw-h/m² día.

Tabla 8. Zonas del ecuador según irradiación solar

ZONAS	Wh/m ² .día
Zona I:	3200 a 3600
Zona II:	3600 a 4000
Zona III:	4000 a 4400
Zona IV:	4400 a 4800
Zona V:	4800 a 5200

Fuente: NEC

Los valores de insolación o radiación solar global para las provincias del país y sus ciudades más importantes son:

Tabla 9. Valores promedio de irradiación solar de ciertas zonas del Ecuador

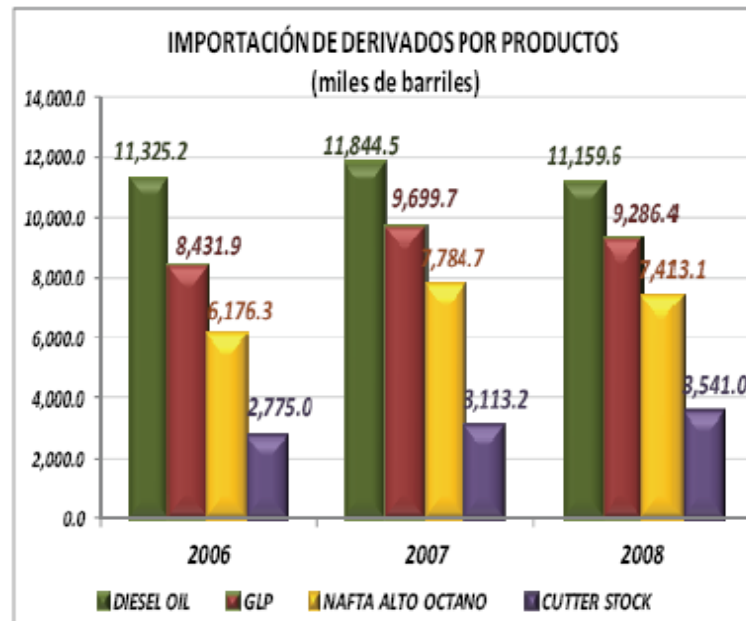
PROVINCIA	CIUDAD	Wh/m ² .día promedio	ZONA
Carchi	Tulcán	4140	II
Esmeraldas	Esmeraldas	4350	II
Imbabura	Ibarra	4560	IV
Manabí	Portoviejo	4160	III
Pichincha	Quito	4990	IV
Tsachilas	Sto. Domingo	3440	III
Cotopaxi	Latacunga	4420	IV
Napo	Tena	4350	II
Santa Elena	Salinas	4360	II
Guayas	Guayaquil	4370	III
Los Ríos	Babahoyo	3780	III
Bolívar	Guaranda	4800	IV
Tungurahua	Ambato	4550	III
Chimborazo	Riobamba	4490	II
Pastaza	Puyo	3800	II
Cañar	Azogues	4500	III
Morona Santiago	Macas	4090	II
Azuay	Cuenca	4350	II
El Oro	Machala	4200	II
Loja	Loja	4350	II
Zamora Chinchipe	Zamora	4350	II
Galápagos	Puerto Ayora	5835	V

Fuente: NEC

3.1.3.2 Recurso energético GLP en Ecuador. En los hogares ecuatorianos, especialmente en la zona sierra, se utiliza energía eléctrica o calefones de gas (GLP) para el calentamiento de agua; con muy poca frecuencia se utilizan calentadores solares, debido fundamentalmente a la diferencia de costos de inversión y al desconocimiento de su uso. Se considera que el tener agua caliente sanitaria es una necesidad latente en los hogares que aún carecen de este y que tan pronto aumenta su capacidad adquisitiva aumenta también la probabilidad de dotarse de este recurso, esto significa que los consumos de GLP y electricidad tienden a aumentar con el crecimiento del PIB. Se deduce de un análisis realizado en el MEER (año 2007) basado en las estadísticas de comercio exterior, donde se registraban que en los 17 años anteriores se realizaron importaciones de 335000 calefones a GLP, pero a partir del 2007 las importaciones de calefones han aumentado alrededor del 50% anual, por lo que considerando su ciclo de vida, habría actualmente alrededor de 400 000 calefones en el país, con un consumo promedio que varía de 1,4 a 2 bombonas de 15 kg al mes por familia.

De acuerdo a estimaciones de la Empresa Eléctrica Quito, el consumo eléctrico por uso de ducha eléctrica de una familia promedio es de 55,6 kw-h por mes. En un estudio efectuado por la Empresa Eléctrica Centro Sur, en el año 2006 se estima que el 10% de la energía eléctrica consumida en una vivienda se destina al calentamiento de agua. En la actualidad se estarían utilizando cerca de 390 Gw-h/año de energía eléctrica para calentamiento de agua en el sector residencial del país, de los cuales el 42% proviene de centrales de generación térmica con uso de combustibles fósiles. Se debe considerar que la mayor parte del agua caliente para bañarse se utiliza en las horas pico de consumo de la mañana y de la noche. Para cubrir la demanda de potencia en hora pico, la energía es generalmente suministrada por generadores que consumen combustibles fósiles, los cuales son subsidiados por el estado. Las grandes importaciones de derivados de petróleo que se hacen para cubrir la demanda nacional, se direcciona. en parte para cubrir las necesidades de Agua Caliente Sanitaria (ACS) en los hogares a través de generación de energía eléctrica y el uso ilegal de las subvenciones del GLP en calefones a gas. En el año 2008 los volúmenes de importaciones de gas licuado de petróleo (GLP) y diesel se situaron en 9 286 400 y 11 159 600 de barriles respectivamente.

Figura 55. Importaciones de derivados por producto[22]



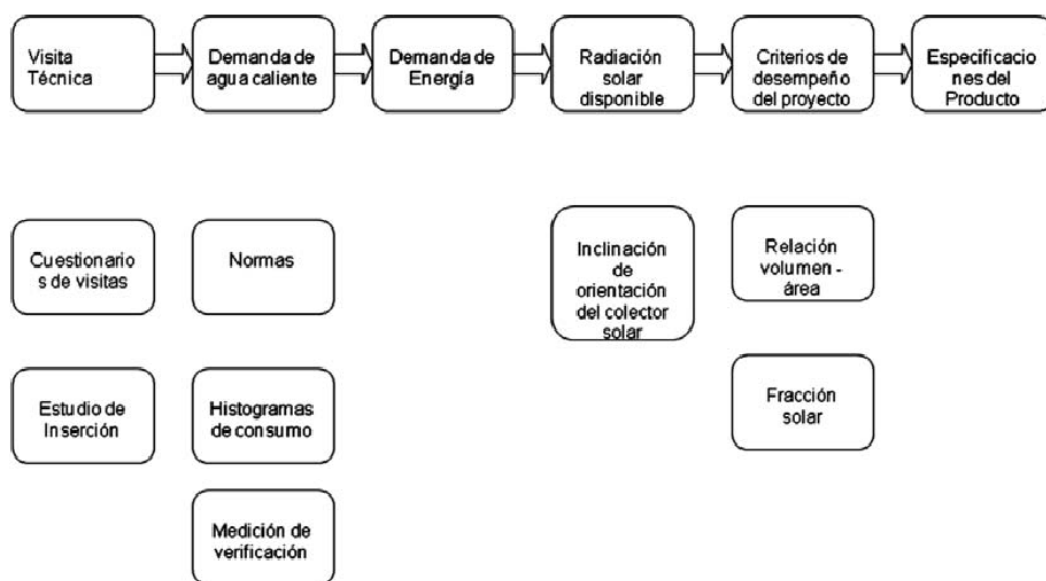
Fuente: Petroecuador, Banco Central del Ecuador

Dado el aumento de los precios internacionales de derivados de petróleo, el aumento del consumo y las subvenciones de los combustibles en el mercado nacional, los costos para el estado ecuatoriano crecen constantemente.

3.1.4 Demanda energética. Para determinar la necesidad de agua caliente de los usuarios caracterizada por el volumen diario de agua caliente y temperatura de operación requerida es importante tener conocimiento previo de estándares de consumo en función del tipo de edificación, usos finales y el sector económico de destino: residencial, industrial y de servicios. Para facilitar este estudio, se detalla en la Figura 56, el paso a paso del dimensionado de instalaciones de calentamiento solar. Como en todo proyecto la etapa del relevamiento de necesidades es fundamental en el trabajo y verificar que las mismas se mantienen al momento de realizar la instalación es responsabilidad de quién realiza la puesta en obra.

El dimensionado de la demanda de agua caliente es hecho en base a informaciones generales obtenidas a partir de: normas de instalaciones; investigación de hábitos de los usuarios potenciales; observación, sensibilidad y buen sentido; experiencia.

Figura 56. Etapas para la resolución adecuada de una instalación de calentamiento solar.



Fuente: Autores

3.1.4.1 Consumos de ACS según usos. Estos datos se presentaron en XV simposio Peruano de energía y se planteó el siguiente cuadro de consumos:

Tabla 10. Valores de demanda de ACS.

CRITERIO DE CONSUMO	Fuente: CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESARROLLO TECNOLÓGICO TIMEESCI – ECUADOR, 2009	Fuente: CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. MINISTERIO DE FOMENTO, ESPAÑA, 2005	
	LITROS ACS/DIA A 55 °C	LITROS ACS/DIA A 60 °C	
VIVIENDAS UNIFAMILIARES	80	30	POR PERSONA
VIVIENDAS MULTIFAMILIARES	55	22	POR PERSONA
HOSPITALES Y CLINICAS	100	55	POR CAMA
HOTELES ****	100	70	POR CAMA
HOTELES ***	80	55	POR CAMA
HOTELES Y HOSTALES **	60	40	POR CAMA
RESIDENCIAS (ANCIANOS, ESTUDIANTES), ETC	70	55	POR CAMA

Fuente: Norma Española de la construcción

Tabla 11. Tabla de consumo ACS según usos

USOS		CONSUMO Litros/día/persona a 50 °C
DOMÉSTICO	Baños	35
	Cocina	5
	Lavatorios	5
ALBERGUES	Por camas	30
HOTELES	Por camas	40
HOSPITALES	Por camas	45

Fuente: Norma Española de la construcción

El dimensionado adecuado de un SCS no es una tarea sencilla, exige el conocimiento previo de los hábitos de consumo de agua caliente por los usuarios finales, hacer un análisis sensato del tipo de edificación donde se instalarán los colectores solares, disponibilidad de radiación solar en las condiciones específicas de la obra, factores climáticos locales y desempeño térmico de los productos, entre otros.

Como en todo proyecto la etapa del relevamiento de necesidades es fundamental en el trabajo y verificar que las mismas se mantienen al momento de realizar la instalación es responsabilidad de quién realiza la puesta en obra.

3.1.4.2 Necesidades medias mensuales. En nuestro país no existen estudios acerca del consumo medio de agua caliente de una persona. En estas circunstancias, en este ejemplo, citamos algunas fuentes que pueden ser tomadas como referencia.

Tabla 12. Recomendaciones de consumo según algunas fuentes

Fuente	Consumo [litros/persona/día]	Temperatura [°C]
Código Técnico de la Edificación. Ministerio de Fomento. España	30	60
Ashrae	60	60
Fabricante local	50	55

Fuente: ASHRAE

La demanda de ACS, cuyos puntos de consumo son la ducha y los grifos localizados en la cocina y baño y de la experiencia local se ha considerado que el dato de consumo que

más se aproxima a nuestra realidad es el valor de 50 litros/persona/día a una temperatura de 45°C. Para estas condiciones la demanda energética es la que se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 13. Datos de referencia del proyecto

TEMPERATURA DE USO	45
NUMERO DE USUARIOS	4
CONSUMO/USUARIO(It/DÍA)	50
NÚMERO DE VIVIENDAS	1
CONSUMO MÁX.(It/día)	200
FACTOR DE SUMULTANIEDAD	1

Fuente: Autores

Por tanto, en nuestro caso, se requiere abastecer de ACS a 1 vivienda con 4 habitantes, el consumo total será de:

$$V_{ACS} = 4(\text{personas}) \cdot 50(\text{l/persona}) \cdot 1(\text{día}) = 200(\text{l/día}) \quad (2)$$

Este consumo puede aumentar o disminuir dependiendo del mes, ya que se pueden presentar factores como el que las viviendas no estén ocupadas en alguno de los meses o que haya meses demasiado calurosos y, por tanto, no se necesite tanta agua caliente.

Temperatura del agua de la red: La temperatura media del agua de la red para la ciudad de Riobamba viene expresada en la siguiente tabla:

Tabla 14. Temperatura del agua de la red.

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
8	9	11	13	14	15	16	15	14	13	11	8	12,25

Fuente: Autores

3.1.4.3 Cálculo de la demanda energética de ACS. El calentamiento de agua para consumo doméstico es uno de los principales usos de la energía solar térmica. La demanda energética del ACS se calcula en función del consumo de agua caliente y las temperaturas de preparación y agua fría. Para realizar el cálculo correspondiente al calentamiento del agua se conoce el V_{ACS} y la temperatura de uso que es 45 °C. Este valor se considera constante durante todo el año, sin embargo, la temperatura del agua de la red sí sufre una pequeña variación debido a la temperatura exterior.

$$D_{ACS} = V_{ACS} \rho_a C_P (T_{USO} - T_{red})(3)$$

$$\rho_a = 1\,000 \left(\frac{kg}{m^3} \right); \quad c_p = 4\,187 \left(\frac{J}{kg \, ^\circ C} \right)$$

Dónde:

- D_{ACS} : Demanda ACS (MJ)
- V : Consumo ACS ($m^3/día$)
- ρ_a : Densidad del agua (kg/m^3)
- C_P : Calor específico del agua ($J/(kg \, ^\circ C)$)
- T_{USO} Temperatura de consumo ($45 \, ^\circ C$)
- T_{RED} Temperatura de red ($12,3 \, ^\circ C$)

3.1.4.4 Caudal diario de ACS. Calculada la necesidad diaria de agua caliente sanitaria en la vivienda adosada que nos plantea el problema, podemos ahora hacer el cálculo del flujo másico que debe circular por la tubería que suministra el agua caliente a la vivienda.

No obstante, para el cálculo del flujo másico estimaremos inicialmente que se aprovechan 9 horas de sol diarias como valor medio anual, y por tanto:

$$m_{cons} = \frac{200 \left(\frac{lt}{día} \right) 1000 \left(\frac{kg}{m^3} \right)}{1000 \left(\frac{lt}{m^3} \right) 9(h) 3600(seg)} = 0,006173 \left(\frac{kg}{seg} \right) \quad (4)$$

Tabla 15. Datos meteorológicos

MESES	TEMPERATURA MEDIA AMBIENTE EXTREMAS ABSOLUTAS (°c)	TEMPERATURA DE RED (°c)	MEDIA DE H. SOL
ENERO	14,1	8	6,1
FEBRERO	13,7	9	4
MARZO	14,3	11	6,1
ABRIL	13,3	13	4,5
MAYO	13,5	14	5,4
JUNIO	13	15	5,7
JULIO	12,2	16	6,5
AGOSTO	12,9	15	7,1
SEPTIEMBRE	11,7	14	4
OCTUBRE	14	13	7,3
NOVIEMBRE	13,7	11	6,3
DICIEMBRE	13,4	8	5,4
MEDIA ANUAL	13,3	12,25	5,7

Fuente: Centro metereológico ESPOCH

Según esta estimación, el calor medio anual se calculara aplicando la ecuación 3.1 y se tabula en la tabla 16. Una vez obtenido el caudal necesario para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria, se puede pasar a realizar una estimación del área de colectores que habrá que emplear.

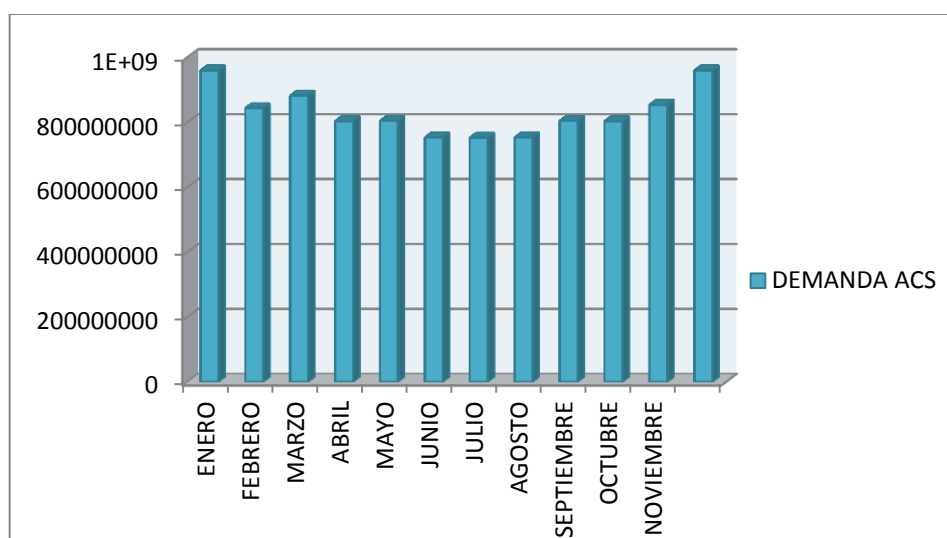
En la siguiente tabla podemos ver la demanda energética para cada mes del año para las viviendas a las que tenemos que suministrar agua caliente sanitaria:

Tabla 16. Calculo de la demanda ACS.

CALCULO DE LA DEMANDA ACS							
MESES	DIAS	CONSUMO(m ³ /dia)	Consumo Total (m ³)	Tred(°C)	Tuso(°C)	ΔT(°C)	Dacs [j]
ENERO	31	0,2	6,2	8	45	37	960497800
FEBRERO	28		5,6	9		36	844099200
MARZO	31		6,2	11		34	882619600
ABRIL	30		6	13		32	803904000
MAYO	31		6,2	14		31	804741400
JUNIO	30		6	15		30	753660000
JULIO	31		6,2	16		29	752822600
AGOSTO	30		6	15		30	753660000
SEPTIEMBRE	31		6,2	14		31	804741400
OCTUBRE	30		6	13		32	803904000
NOVIEMBRE	30		6	11		34	854148000
DICIEMBRE	31		6,2	8		37	960497800

Fuente: Autores

Figura 57. Porcentaje de la demanda de agua en función de los meses de trabajo.



Fuente: Autores

El valor del consumo de agua caliente sanitaria en términos económicos se traduciría en un gasto anual medio que conllevan un coste de forma anual.

3.2 Energía solar disponible en Riobamba

Las horas de sol brillante permite determinar la intensidad de radiación que incide en este caso sobre la Ciudad de Riobamba por lo que es necesario efectuar una investigación de campo relacionada con la toma, ordenamiento y procesamiento de esta variable recurriendo a la información recopilada por el centro meteorológico de la Facultad de Recursos Naturales de la ESPOCH, y datos publicados en la norma Ecuatoriana de Energía renovables. Y en base al procesamiento de datos mensuales, anuales se obtendrá la heliofanía promedio.

Los siguientes datos de radiación solar promedio de algunas ciudades del Ecuador y en nuestro caso de la ciudad de Riobamba y pueden ser utilizados para los cálculos, hasta que el Mapa Oficial Solar del Ecuador, sea promulgado por las entidades estatales competentes.

Tabla 17. Insolación promedio 10 años en kw-h/m2 día

Sitio: Latitud/Longitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Cotopaxi:-1/-79	3,73	3,98	4,05	3,88	3,74	3,47	3,71	3,97	3,98	3,77	3,88	3,79	3,83
Cuenca-Loja:-3/-79	3,76	3,99	3,98	3,87	3,84	3,53	3,79	4,17	4,29	4,08	4,26	4,05	3,97
Esmeraldas:0/-80	4,05	4,42	4,71	4,51	4,17	3,79	3,75	3,9	3,96	3,88	3,93	3,97	4,09
Guayaquil: -3/-80	4,34	4,58	4,66	4,55	4,37	3,85	3,96	4,3	4,53	4,37	4,62	4,53	4,39
Ibarra-Tulcán:0/-79	3,73	4,01	4,17	3,95	3,75	3,56	3,85	4,01	3,95	3,79	3,81	3,73	3,86
Islas Galápagos:-1/-91 (medido en sitio)	6,25	6,56	6,78	6,49	6,03	5,56	4,92	5,19	5,28	5,49	5,46	6,01	5,84
Manabí:-2/-81	5,05	5,22	5,51	5,45	5	4,01	3,84	4,15	4,42	4,26	4,54	4,91	4,70
Napo: -2/-77	4,45	4,36	4,33	4,04	4,11	3,74	4,01	4,55	4,82	4,59	4,47	4,67	4,35
Quevedo: -1/-80	4,15	4,44	4,63	4,5	4,21	3,68	3,68	3,92	4,01	3,86	4,01	4,09	4,10
Quito:-1/-79	3,73	3,98	4,05	3,88	3,74	3,47	3,71	3,97	3,98	3,77	3,88	3,79	3,83
Riobamba: -2/-79	3,74	3,97	3,96	3,83	3,76	3,43	3,63	3,98	4,05	3,82	3,99	3,87	3,84
Santa Elena: -3/-81	5,25	5,43	5,62	5,51	5,13	4,32	4,25	4,59	4,97	4,84	5,13	5,28	5,03

Fuente: Centro metereológico ESPOCH

DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR DE LA NASA, EOSWEBLARC

- La insolación difusa promedio es $2\,120 \left(\frac{W-h}{m^2 día} \right)$
- La insolación directa promedio es $3\,370 \left(\frac{W-h}{m^2 día} \right)$

Reemplazando estos datos en la ecuación respectiva tenemos:

$$G_{SOLAR} = G_D \cos \theta + G_d \left[\frac{w}{m^2} \right] (5)$$

$$G_{SOLAR} = \frac{3\,370 \cos 1,63 + 2\,120}{9}$$

$$G_{SOLAR} = 686,08 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

La insolación global promedio es $5\,100 \left(\frac{W-h}{m^2 día} \right)$

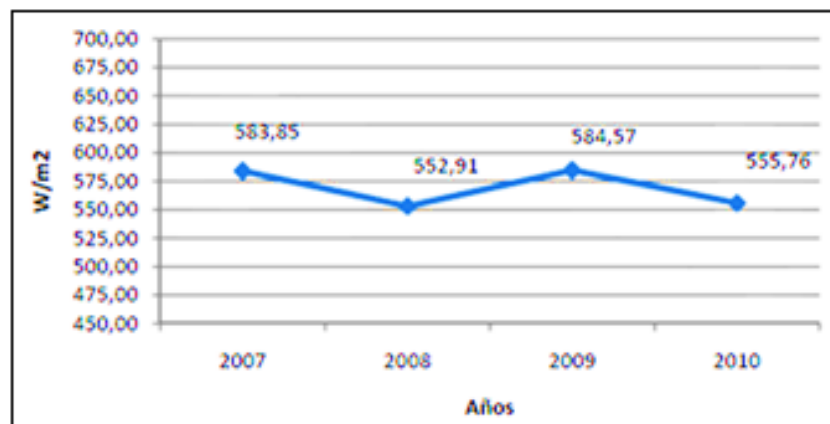
Por ende la radiación solar recibida en la ciudad de Riobamba es $637,5 \left(\frac{w}{m^2} \right)$, ya que se asume que se tiene 9 horas de radiación en el día.

Tabla 18. Datos de la radiación media anual en los años 2007-2010

Año	Intensidad (w/m^2)
2007	583,85
2008	552,91
2009	584,57
2010	555,76

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH

Figura 58. Radiación solar vs años



Fuente: Autores

DATOS DEL CONELEC

Tabla 19. Zonas de irradiación solar del ecuador.

Zonas	Rango de Radiación Solar ($w-h/m^2$ día)
1	3500 – 4050
2	4050 – 4350
3	4350 – 4800
4	4800 – 5250
5	5250 – 5700

Fuente: Autores

Chimborazo y en especial Riobamba se encuentran en la zona II donde se va a realizar el proyecto.

3.2.1 Potencial solar local. Para nuestro análisis empleamos el método de Glover y McCulloch

$$I = G_0 \left[0,29 \cos \phi + 0,52 \frac{n}{N} \right] \quad (6)$$

Dónde:

- I = Radiación solar incidente en la superficie terrestre (w/m^2)
- G_0 = Constante solar o radiación que llega a la atmósfera (1353 w/m^2)
- $\cos \phi$ = Coseno del ángulo de latitud geográfica, para Riobamba, $1^\circ 38'$
- min. Latitud sur. (Medición mediante G.P.S.)
- 0,29 y 0,52 = Coeficientes experimentales que corrigen la radiación solar incidente, en función de la dispersión de la radiación solar al atravesar la atmósfera
- n = Número de horas de sol brillante al día (tabla 22, heliofanía 5,7)
- N = Número máximo de horas de sol al día en la localidad (9 horas).

Al relacionar el recurso disponible y la demanda requerida, junto con la eficiencia, se puede encontrar el área de colectores solares para el calentamiento del agua.

$$A = \frac{m C_p (T_f - T_i)}{I \eta} \quad (7)$$

Dónde:

- A = Área de colectores solares (m^2)
- η = Eficiencia del sistema de calentamiento (0,70 – 0,85)
- I = radiación incidente en el colector.

3.3 Variables físicas locales

3.3.1 Temperatura ambiental. La temperatura es una magnitud física que refleja la cantidad de calor, ya sea de un cuerpo, de un objeto o del ambiente. Dicha magnitud está vinculada a la noción de frío (menor temperatura) y caliente (mayor temperatura). La temperatura está relacionada con la energía interior de los sistemas termodinámicos, de acuerdo al movimiento de sus partículas, y cuantifica la actividad de las moléculas de la materia: a mayor energía sensible, más temperatura.

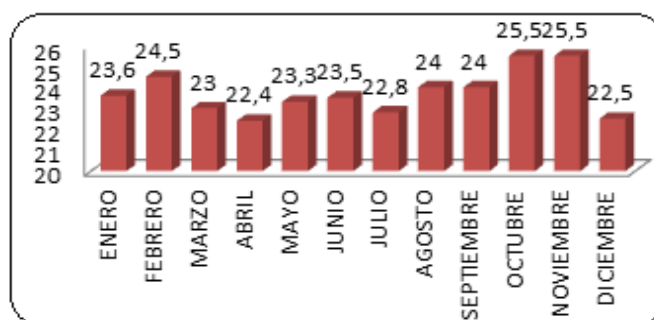
Datos proporcionados por la estación meteorológica del ESPOCH, tomados en las horas de máxima radiación (horas de trabajo).

Tabla 20. Temperatura del aire 2011 en la ciudad de Riobamba – Ecuador

TEMPERATURA DEL AIRE 2011						
MESES	MEDIAS	EXTREMAS ABSOLUTAS			EXTREMAS MEDIAS	
		MAXIMAS	MINIMAS	AMPLITUD	MAXIMAS	MINIMAS
ENERO	14,1	23,6	2,6	21	20,8	7,2
FEBRERO	13,7	24,5	5,1	19,4	20,5	8,7
MARZO	14,3	23	1,5	21,5	21,5	6,9
ABRIL	13,3	22,4	6,3	16,2	19,9	8,8
MAYO	13,5	23,3	4	19,3	20,3	8,6
JUNIO	13	23,5	5,4	18,1	20,6	8,8
JULIO	12,2	22,8	2,6	20,2	19,4	9,4
AGOSTO	12,9	24	2,6	21,4	21,2	6,8
SEPTIEMBRE	11,7	24	1,2	22,8	17,5	6,8
OCTUBRE	14	25,5	3,6	21,9	23,2	7,3
NOVIEMBRE	13,7	25,5	3	22,5	22,5	8,1
DICIEMBRE	13,4	22,5	6	16,5	20,6	9,6
SUMA	159,8	284,6	43,9	241,4	248	97
MEDIA	13,3	23,7	3,7	20,1	35,7	8,1

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH

Figura 59. Porcentaje de temperatura del aire vs meses del año.



Fuente: Autores

3.3.2 Humedad relativa del aire. La humedad relativa es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental y se expresa en porcentaje.

$$RH = \frac{P_{(H_2O)}}{p_{(H_2O)}} (100) \quad (8)$$

Dónde:

- $P_{(H_2O)}$: es la presión parcial de vapor de agua en la mezcla de aire;
- $p_{(H_2O)}$: es la presión de saturación de vapor de agua a la temperatura en la mezcla de aire
- RH : Es la humedad relativa de la mezcla de aire que se está considerando.

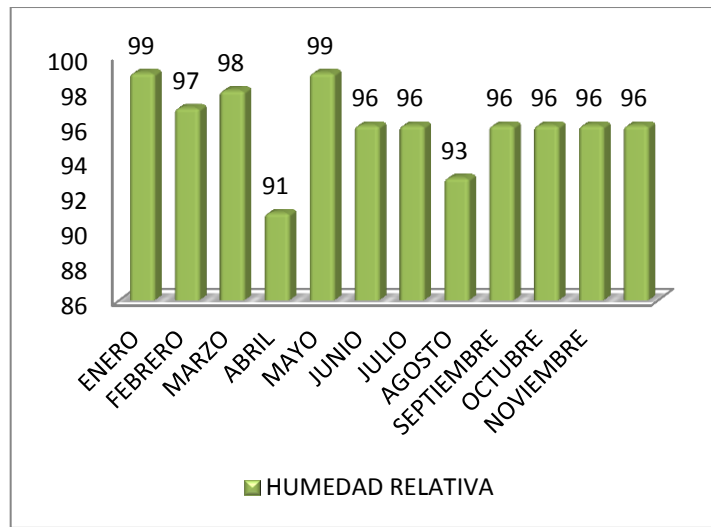
La importancia de esta manera de expresar humedad ambiental estriba en que refleja muy adecuadamente la capacidad del aire de admitir más o menos vapor de agua.

Tabla 21. Datos de humedad del 2011 de la ciudad de Riobamba–Ecuador.

HUMEDADES 2011						
		EXTREMAS ABSOLUTAS			EXTREMAS MEDIAS	
MESES	MEDIAS	MAXIMAS	MINIMAS	AMPLITUD	MAXIMAS	MINIMAS
ENERO	61,1	99	15	84	86	28
FEBRERO	84,3	97	22	75	91	35
MARZO	60,3	98	15	82	81	19
ABRIL	74,4	91	25	66	88	39
MAYO	69,4	99	18	81	89	42
JUNIO	61,6	96	21	75	82	34
JULIO	61,7	96	20	76	80	39
AGOSTO	58,6	93	39	59	92	70
SEPTIEMBRE	57,7	96	42	54	77	43
OCTUBRE	51,6	96	9	87	73	28
NOVIEMBRE	58,9	96	23	73	84,7	46
DICIEMBRE	63,4	96	15	51	92,1	57
SUMA	791,8	1123	289	835	1020,5	457,6
MEDIA	66	93,6	24,1	69,6	85	38,1

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH

Figura 60. Humedad relativa Vs .meses del año.



Fuente: Autores

3.3.3 Emisión solar diaria. El Ecuador es un país privilegiado con respecto a condiciones meteorológicas y ubicación geográfica para la utilización de paneles solares. Primeramente al encontrarse en la latitud 0° no existen variaciones representativas de horas efectivas de luz solar al día. En este país existe a lo largo de todo el año un promedio de 12 horas diarias de sol, variando entre alrededor de 11H45 a 12H20 dependiendo de la posición de la tierra en la órbita elíptica alrededor del sol.

La luminosidad o brillo solar se conoce comúnmente en el ámbito meteorológico como “Heliofanía”, se mide con un instrumento que se compone básicamente de una placa metálica, un circuito eléctrico y un reloj. Cuando la temperatura de los rayos solares alcanza un valor determinado se dispara un impulso eléctrico que activa el reloj, y este empieza a tomar el tiempo. Luego, si la temperatura baja de cierto nivel el reloj se desactiva, y así periódicamente según las condiciones de luminosidad. La Heliofanía se mide en horas de brillo solar mensuales. Para efecto de este estudio la Heliofanía no es un indicador muy práctico o utilizable, pero basándose en esto podemos determinar la radiación solar en watts por metro cuadrado de la siguiente manera:

$$R_s = R_T = \left[a + b \left(\frac{n}{N} \right) \right] \quad (9)$$

Dónde:

- R_s = radiación solar
- R_t = radiación solar promedio, 1367 vatios por metro cuadrado (Ecuador)
- a = constante, 0,28
- b = constante, 0,45
- n = horas de Heliofanía medidas
- N = duración del período en horas (por ejemplo 12 horas en el día de sol)

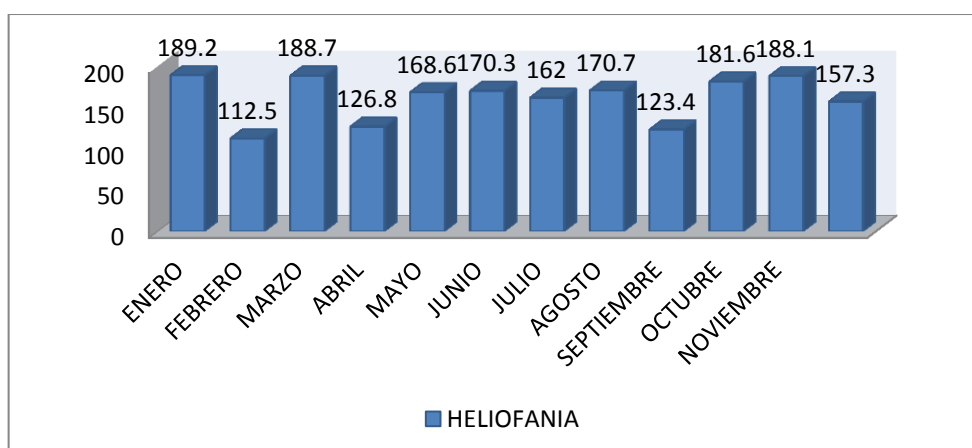
Como se conoce la Tierra gira alrededor del Sol en una órbita elíptica, y por ende la intensidad de la luz solar varía en muchas partes del mundo, pero en el Ecuador al estar en la latitud 0° esta variación no es muy representativa. El valor de R_t es el promedio de valores como R_{t1} y R_{t2} , y el resto de distancias existentes. Entonces como la variación no es representativa para nuestras condiciones se utiliza como constante el valor de $1\,367\text{ w/m}^2$. a continuación se presentan algunos datos de heliofanía.

Tabla 22. Datos de heliofanía 2011

HELIOFANIA 2011			
MESES	HORAS DE SOL	MEDIA H SOL	MEDIA
ENERO	189,2	6,1	50
FEBRERO	112,5	4	34
MARZO	188,7	6,1	50,6
ABRIL	126,8	4,5	37,7
MAYO	168,6	5,4	45,7
JUNIO	170,3	5,7	45,7
JULIO	162	6,5	43,7
AGOSTO	170,7	7,1	59,2
SEPTIEMBRE	123,4	4	33,2
OCTUBRE	181,6	7,3	59,8
NOVIEMBRE	188,1	6,3	52,5
DICIEMBRE	157,3	5,4	42,3
SUMA	1939,2	68,4	555,2
MEDIA	161,6	5,7	46,3

Fuente: Estación agro meteorológica de la ESPOCH.

Figura 61. Grafica heliofania vs meses del año



Fuente: Autores

3.4 Selección de equipos y elementos

Para una correcta selección del equipo se tiene en cuenta las características que se presentan a continuación:

- Todos los sistemas, equipos y componentes, se diseñan para poder efectuar y soportar tratamientos de choque térmico a una temperatura de 70 °C. El sistema de calentamiento debe ser capaz de elevar la temperatura del agua hasta dicho valor o más para su desinfección.
- Se debe calcular la instalación de forma que la temperatura del agua permanezca en todo punto de la instalación por encima de 50 °C.
- Cuando se prevean equipos y aparatos en reserva, deben aislarse mediante válvulas de corte de cierre hermético y deben estar equipados de una válvula de drenaje situada en el punto más bajo.
- Con el fin de impedir la estratificación del agua y evitar que se mantenga un volumen de agua templada, los depósitos deben de tener una relación altura/diámetro y deben ser instalados verticalmente. Si se prevén varios depósitos, la conexión deberá hacerse en serie.
- Existen dispositivos de filtración con un tamaño de poro adecuado para la retención de bacterias que pueden ser instalados en los puntos terminales de la

red. Estos pueden ser especialmente recomendables en instalaciones de muy alto riesgo, tales como salas de hospitalización, trasplantados, inmunodeprimidos, oncología, u otras.

3.4.1 Sistema de calentamiento de agua por calefón[23]. El calefón es una tecnología que en los últimos años tiene gran acogida en los hogares para la obtención de ACS, debido a que son económicos en cuanto a instalación, consumo y mantenimiento. Teniendo en cuenta todo esto, a continuación se expone la selección del equipo y elementos para la instalación.

Según estos antecedentes y tomando en cuenta los requisitos técnicos que solicita la norma INEN 2333:2002 para instalaciones autorizadas, establece tener conocimientos de Combustión y Gas Licuado de Petróleo (GLP) y realizar los pasos a continuación detallados:

- Materiales para la instalación (tuberías, accesorios, válvulas)
- Componentes de la instalación (equipos)

3.4.1.1 Materiales para la instalación de gas[24]

- **Tuberías**

Según la norma INEN 2260, se utilizan tuberías rígidas o flexibles, metálicas o plásticas para conducir gas combustible desde un punto a otro, además deben poseer las siguientes características:

- Resistir la acción del gas combustible y del medio exterior, por lo que deben estar protegidas de manera eficaz
- Sus espesores deben cumplir con las condiciones de ensayo de presión impuestas a estas instalaciones, y poseer una resistencia mecánica que cumpla con los requisitos.
- Las tuberías vistas deben ser señaladas e identificadas con los colores de acuerdo a la norma INEN 440 (amarillo para la conducción en estado gaseoso).

Dicho esto, se utiliza generalmente tuberías plásticas de polietileno (PE), o mixtas de polietileno-aluminio-polietileno (PE-AL-PE).

- **Accesorios**

Las uniones de los tubos entre si y de estos con los accesorios y elementos de la instalación, se hace de forma que el sistema utilizado asegure la estanqueidad, sin que se afecte por la presión de suministro ni el medio exterior.

Entonces para el sistema que es una instalación casera, según la norma INEN 2260, se debe tomar en cuenta:

- Las uniones entre tuberías, en instalaciones interiores, pueden ser roscadas cuando la presión de servicio no exceda de 34 KPa.
- Los accesorios deben ser de acero, bronce, cobre. No deben utilizarse accesorios roscados para unión de tuberías (eles, tees, cruces, acoplamientos, uniones, bridas y tapones) de hierro fundido.

Además según esta norma los locales de uso doméstico que contengan calefones, deben cumplir con los requisitos de ventilación directa, así por ejemplo mediante un ducto individual vertical (chimenea), en el cual el sentido de circulación del aire será siempre ascendente.

3.4.1.2 Componentes de la instalación

- **Calefón**

La selección es muy simple, se realiza según los requerimientos y necesidades de ACS al día por una vivienda unifamiliar (4 personas).

La potencia calorífica necesaria de este tipo de calentadores dependerá del caudal máximo, y del salto térmico del agua en su interior.

En el siguiente cuadro se determina la cantidad de agua caliente en l/h que podrá obtenerse de un calentador instantáneo de gas según su potencia útil para diferentes temperaturas de salida, teniendo una temperatura de entrada de 10°C.

Tabla 23. Calefones. Potencia Vs. Temperatura de salida [25]

Potencia del calentador	Temperatura de salida en °C							
	35	40	45	50	55	60	65	70
125 Kcal/min	300	250	215	188	167	150	136	125
250 Kcal/min	600	500	426	375	366	300	273	250
325 Kcal/min	780	650	557	488	433	390	355	325
Cantidad de agua caliente l/h para Tª de entrada de 10°C								

Fuente: Catálogo calefones bosch

Como se necesita suministrar agua caliente a un baño de aseo y lavandín, uno medianogarantiza lo dicho, y se decide por uno de potencia igual a 20 kw que esta entre los rangos de 125 a 400 kcal/min. (2.14.2)

Esta potencia brinda calefones de 10 lt de capacidad, entonces se selecciona uno marca Olym de encendido automático, que garantiza agua caliente simultánea para una ducha y un lavabo, lo suficiente para ser el sistema auxiliar.

Propiedades del calefón:

- Fabricante: ZHONGSHANHUAXIA HOME APPLANCE MANUFACTURER LTD.
- Modelo: OM-CD10L
- Tipo: INSTANT/LPG
- Potencia: 20 (kw)
- Gasto nominal: 20 (kw)
- Presión Mínima de agua: 4,5 lt/min
- Presión Máxima de agua: 10lt/min

La ubicación e instalación de este sistema obedece a la distribución de espacios. La instalación de calefones está sujeta a la norma NTE INEN57 2124 apartado 5.4.3 (Alturas en los locales interiores de instalación).

- **Tanque de gas:**

Este va a ser uno casero de 15 kg de capacidad, mismo que puede abastecer a calefones de potencias y capacidades varias.

Figura 62. Tanque de gas



Fuente: Indugas

3.4.2 Sistema de calentamiento de agua por colector solar. La selección del colector, el área de los paneles solares, se basa en la determinación de dos variables:

- Recurso energético disponible (cantidad de radiación solar incidente),
- Necesidad ó demanda energética de ACS.

Identificados estos dos parámetros, se los confronta y busca una alternativa de colector solar para calentamiento de agua.

La radiación solar se calcula por la ecuación de Glover y Mc Culloch:

$$I = G_0 \left[0,29 \cos \varnothing + 0,52 \frac{n}{N} \right]$$

$$I = 1\,373 \frac{W}{m^2} \left[0,29 \cos(1,63) + 0,52 \left(\frac{5,7}{9} \right) \right]$$

Reemplazando los datos del apartado 3.2.1:

$$I = 850,18 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

La demanda energética se calcula por la ecuación de calor latente:

$$D_{ACS} = V_{ACS} \rho_a C_p (T_{USO} - T_{red})$$

Reemplazando los datos del apartado 3.1.4.3, se tiene:

$$D_{ACS} = 1,298(kw)$$

Con estos dos parámetros, se halla el área de captación con la ecuación (3.6):

$$A = \frac{D_{ACS}}{I \eta}$$

Dónde:

- A = Área de colectores solares (m^2)
- η = Eficiencia del sistema de calentamiento. Recomendado 0.8

Entonces:

$$A = 2 \text{ m}^2$$

Pero, al utilizar sistemas solares genéricos junto con una fuente auxiliar de energía, ya que en Riobamba el clima es cambiante e impredecible y los combustibles convencionales accesibles, se sugieren capacidades de almacenamiento del depósito del orden de 1,1 veces la necesidad media diaria. Esta sugerencia según normas establecidas por el CTE.

La selección del colector solar también se puede hacer según el consumo de ACS por persona, y como el estudio está dirigido a una vivienda unifamiliar (4 personas) se selecciona un colector con tanque acumulador de 200 lt de capacidad, que está en un rango sugerido por la CTE.

El colector solar seleccionado es uno de tubos al vacío termosifón de 200 lt de capacidad con las siguientes características:

Tabla 24. Características técnicas del colector solar [26]

Marca	EU SOLAR	
Diámetro del tubo	65 mm	
Inclinación mínima	15°	
Inclinación máxima	90°	
Presión máxima de trabajo (bar)	6 bar	
Presión de prueba (bar)	10 bar	
Máxima temperatura del tubo	290°	
Rendimiento óptico*	0,8	
Coefficiente de pérdida de calor K1*	1,16	
Coefficiente de pérdida de calor K2*	0,006	
Modelo	HP 65/20	HP 65/30
Dimensiones	1980 x 1450 x 165 mm	1980 x 2150 x 165 mm
Superficie absorbente	2,00 m ²	2,97 m ²
Superficie total	2,90 m ²	4,29 m ²
Número de tubos	20	30

Fuente: EU SOLAR

Al comparar la superficie de captación calculada y la que nos da el equipo en la tabla, son prácticamente iguales, y se puede concluir que la selección es exitosa.

3.4.2.1 Materiales para la instalación

- **Tuberías[27]**

La mayoría de instalaciones utilizan tuberías rígidas plásticas HIDRO 3 para conducir agua fría o caliente desde un punto a otro. H3 es un Polipropileno Homopolímero Isotáctico exclusivo, que puede ser roscable y termofusionable, posee alta resistencia mecánica, bajo índice de fluencia y elevado punto de ablandamiento.

Figura 63. Tubería HIDRO 3



Fuente: Hidro 3

H3 es un sistema sintético inalterable que brinda máxima seguridad en la conducción de agua a elevadas temperaturas y presiones, logrando superar exhaustivas pruebas de resistencia en los más avanzados laboratorios nacionales y europeos

Tabla 25. Presiones y temperaturas admisibles a 50 años

Ø Nominal	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Temperatura	Presión de servicio admisible para tubos Saladillo Hidro 3 unidos por fusión (bar)									
20°	23.7	21.2	21.3	19.5	18.8	17.8	16.8	16.4	15.6	15.3
40°	19.0	17.0	17.0	15.6	15.0	14.2	13.4	13.1	12.5	12.2
60°	14.0	12.5	12.5	11.5	11	10.5	9.9	9.6	9.2	9.00
80°	6.1	5.4	5.4	5.0	4.8	4.5	4.3	4.2	4	3.90

Fuente: Hidro 3

La baja conductividad térmica de las tuberías H3, casi 300 veces menor que la del cobre, se traduce en agua más caliente, en menos tiempo y a menor costo.

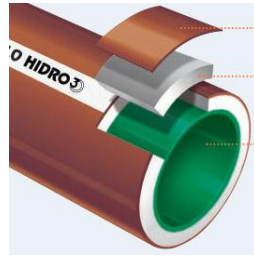
Tabla 26. Relación de conductividades térmicas.

TUBERIA	CONDUCTIVIDAD TERMICA	RELACION
Cobre (latón)	50 kcal/h.m.°C	263
SALADILLO H3	0.19 kcal/h.m.°C	1

Fuente: Hidro 3

Las tuberías H3 se fabrican por coextrusión, proceso que permite que cada una de las tres capas se fusione para lograr las características mencionadas.

Figura 64. Capas de la tubería.



Fuente: Hidro 3

Capa externa marrón: Alta resistencia al medio externo

- Resiste la exposición solar, las altas y bajas temperaturas atmosféricas y los malos tratos de obra.
- En contacto con la cal, el cemento y otras sustancias corrosivas, no se corroe ni envejece.

Capa central blanca: Alta resistencia mecánica

- Soporta presiones de agua superiores a los 100 kg/cm²
- Resiste el roscado. Las fibrillas de vidrio presentes en su formulación exclusiva, brindan filetes de rosca de alta tenacidad, que garantizan un excelente acople y sellado.
- El bajo índice de fluencia y elevado punto de ablandamiento de la materia prima aseguran la perfecta fusión molecular.

Capa interna verde: Alta conductividad de fluidos

- Es inerte y atóxica. No afecta el color, olor o sabor del agua transportada.
- Resiste la corrosión indefinidamente.
- Soporta el agua hirviendo y puede conducir ácidos y álcalis.
- Su superficie, libre de porosidades, no favorece las incrustaciones de sarro, asegurando valores máximos y constantes de caudal y presión por más de 50 años.

El diámetro de las tuberías también se establece considerando que la velocidad del fluido que lo recorre, no supere la velocidad marcada en el CTE. La velocidad máxima recomendada con la que tiene que circular el líquido es de unos 1,3 m/s si lo hace de forma continua y de 2,5 m/s si lo hace en intervalos.

La velocidad media del fluido es una variable a fijar, pero la experiencia en instalaciones existentes permite prefijar un rango de velocidades, que no es conveniente superar para evitar riesgos colaterales a la circulación del fluido por la conducción.

Para determinar el diámetro de la tubería, conocidos su velocidad y su caudal se utiliza la siguiente expresión:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (10)$$

Siendo:

- v: velocidad del fluido [m/s]
- Q: caudal [m³/s]
- D: diámetro interior de la tubería [m]

Por otro lado, para dimensionar las tuberías también es necesario considerar las pérdidas de presión por rozamiento o pérdidas de carga lineales, las cuales dependen del diámetro de la tubería, de su rugosidad, de las características del fluido que lo recorre y de su velocidad.

Existen tablas y numerosas expresiones que expresan pérdidas de carga lineales en función del material a emplear.

Para el presente estudio se ha optado por la expresión obtenida a partir de la fórmula de Flamant, que sirve para el caso de tuberías de plástico de paredes lisas por las que circula agua caliente sin aditivos:

$$Pdc_{unitaria} = 378 \frac{Q^{1,75}}{D^{4,75}} \quad (11)$$

Donde:

- Pdcunitaria: pérdida de carga por metro lineal de tubería [mm.c.a/m].
- Q: caudal por la tubería [l/h].
- D: Diámetro interior de la tubería [mm].

Se adjunta a continuación una tabla de caudales de agua aproximados admisibles para los diferentes diámetros de tubería de plástico, suponiendo una pérdida de carga máxima de 40 mm.c.a.

Tabla 27. Tabla de selección de tuberías para agua sin aditivos


Diámetro nominal [mm]	Diámetro Interior [mm]	Caudal [litros/hora]
18	16	Hasta 500
22	20	Hasta 950
8	26	Hasta 1900
35	33	Hasta 3600
42	40	Hasta 6200
54	51,6	Hasta 12000

Fuente: Tubos PVC

El diámetro de tubería seleccionado será aquel que proporcione una velocidad y una pérdida de carga inferior a la máxima admisible o recomendable. Entonces con los datos de velocidad y caudal de la tabla se itera hasta conseguir un diámetro de tubería aceptable.

El sistema H3 comprende varios modelos de tuberías, el que se utiliza es la verde para agua caliente y fría de ½ plg, por su resistencia a mayor caudal, sin incrustaciones en condiciones de máxima seguridad, higiene, economía y prolongada vida útil.

Figura 65. Denominación de tuberías h3

Saladillo H3 verde		Tuberías para agua fría y caliente						
	Código Nº	d mm	dn pulg.	dl mm	s mm	Sp cm²	P kg/m	Vu lt/m
	65	21.30	1/2	14.5	3.4	1.65	0.173	0.165
	66	26.90	3/4	19.1	3.9	2.9	0.256	0.290
	67	33.70	1	23.9	4.9	4.5	0.402	0.450
	68	42.20	1 1/4	30.8	5.7	7.45	0.593	0.745
	69	48.30	1 1/2	35.7	6.3	10.00	0.754	1.000
	70	60.30	2	45.3	7.5	16.10	1.128	1.610
	71	76.10	2 1/2	58.1	9.0	26.50	1.721	2.650
	72	88.90	3	68.3	10.3	36.65	2.307	3.665
	64	114.30	4	88.9	12.7	62.10	3.677	6.210
	63	139.70	5	101.5	19.1	80.91	6.947	8.090

Presentación: Tiras por 6 m.

Fuente: Hidro 3

• Accesorios

Las uniones de los tubos con accesorios y elementos, se realiza de forma que el sistema asegure la estanqueidad, sin que se afecte por la presión de suministro (no fugas), ni el medio exterior.

Entonces el sistema, igual que la tubería poseerá accesorios HIDRO 3 de ½ plg, como:

- Codos 45°,
- Codos 90°,
- Uniones,
- Neplos,
- Tees,
- Válvulas Universales,
- Bushings,
- Tapones macho,
- Reducciones de ¾ a ½ plg,
- Reducciones de 1 a ½ plg,

Todos estos accesorios se adhieren a la tubería previamente roscada y se fusionan con teflón y sellador.

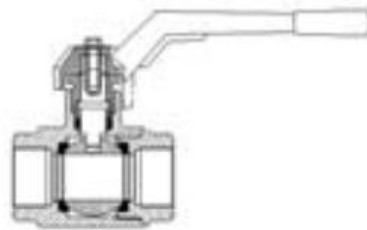
- **Válvulas**

Las válvulas de uso corriente a utilizar según la presión de trabajo son:

Válvulas de Bola: Estas incorporan los últimos adelantos en materia de diseño. Sus características principales son:

- Presentan un paso recto y completo del flujo, es así que hay mínimas pérdidas de carga y no provocan turbulencias.
- Son de rápido cierre.
- Requieren de un mínimo de espacio de instalación.
- Son durables.
- Funcionan en cualquier posición de instalación

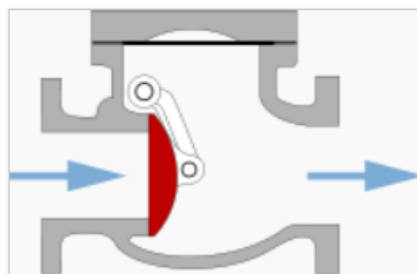
Figura 66. Válvula de bola



Fuente: Autores

Válvulas Check: Las válvulas anti retorno, también llamadas válvulas de retención o válvulas uniflujo, tienen por objetivo cerrar por completo en un sentido el paso del fluido en circulación y dejarlo libre en el contrario.

Figura 67. Sección de una válvula anti retorno para líquidos



Fuente: Autores

Estas válvulas tienen la ventaja de un recorrido mínimo del disco u obturador a la posición de apertura total, además son ampliamente utilizadas en tuberías conectadas a sistemas de bombeo para evitar golpes de ariete, principalmente en la línea de descarga de la bomba.

- **Bomba de Recirculación**[28]

Las bombas de recirculación son elementos accionados por un motor eléctrico, capaces de suministrar al fluido una cantidad de energía suficiente para hacerlo circular a través de un circuito, venciendo las pérdidas de carga existentes en el.

La función que tiene la bomba es asegurar que el calor obtenido gratuitamente por el sol se transmita al kit solar compensando la presión que este requiere para su buen funcionamiento como crear mayor presión al sistema. Se acciona directamente a través de un automático instalado cuando hay demanda de agua.

Para el cálculo de la potencia necesaria para la bomba es necesario un cálculo de las pérdidas de presión que se produce en el circuito, teniendo en cuenta todos sus elementos (tuberías, accesorios, válvulas).

Pérdidas de carga por fricción en tuberías

$$\Delta P_{tub} = \frac{1}{2} \rho V^2 \left(f \left(R_e, \frac{\varepsilon}{D} \right) \frac{L + \sum K}{D} \right) \quad (12)$$

Dónde:

- ρ es la densidad del fluido [kg/m³]
- f es el coeficiente de fricción.
- L es longitud del tubo [m].
- V es la velocidad del fluido por el interior del conducto [m/s].
- D es el diámetro del conducto [m]
- K es el coeficiente de pérdidas de cada elemento.

La velocidad del fluido en el circuito es 1,3 m/s de forma continua, cumpliendo con los requerimientos de la CTE que establece esta como velocidad mínima.

El número de Reynolds para esta configuración es:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (13)$$

Dónde:

- ρ es la densidad del fluido [kg/m³]
- V es la velocidad del fluido por el interior del conducto [m/s].
- D es el diámetro del conducto [m]
- μ es la viscosidad dinámica del fluido [kg/m s].

Obteniéndose un valor para este parámetro de 2270.

El otro parámetro necesario para el cálculo del coeficiente de fricción, se calcula según:

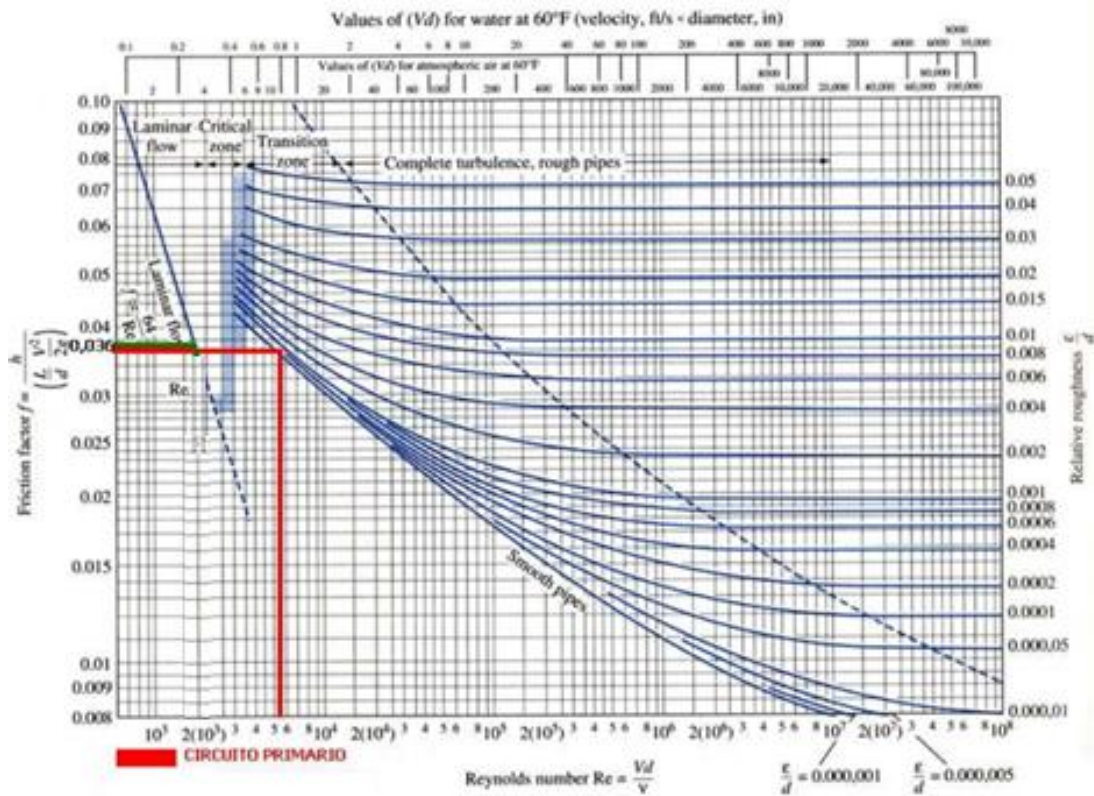
$$F_R = \frac{\varepsilon_r}{D} \quad (14)$$

Donde:

- ε_r es la rugosidad del tubo [m].
- D es el diámetro interior del tubo [m].

Y que ofrece el valor, 0,00014. Conocido este valor entramos en el diagrama de Moody para obtener el valor del coeficiente de fricción, como se muestra:

Figura 68. Diagrama de Moody.



Fuente: Ashrae

Además de las pérdidas por fricción en tuberías, se producen pérdidas de carga en los distintos elementos, caracterizados por un coeficiente de pérdidas K. Esta información se recoge en la siguiente tabla.

Tabla 28. Pérdida de carga en elementos del circuito.

Elemento	K	Circuito Primario	Circuito Secundario
Codo 90°	1	4	2
Reductor	0,3	2	1
Ensanchamiento	0,4	2	1
Válvula de esfera	14	2	0

Fuente: Autores

Dando un resultado de:

$$\Delta P_{tubería} = 34\,450\,Pa$$

La potencia requerida para la bomba es el resultado de multiplicar las pérdidas de carga por el caudal del mismo (en m³/s). Así se necesitará: $P_b = 2,07\,w$

Se opta para la instalación por una bomba WILO STAR ST 25/6 diseñada específicamente para el bombeo de ACS, con carcasa de fundición gris con protección de cataforesis, rodete de polipropileno reforzado con fibra de vidrio y eje de acero inoxidable con cojinetes de grafito.

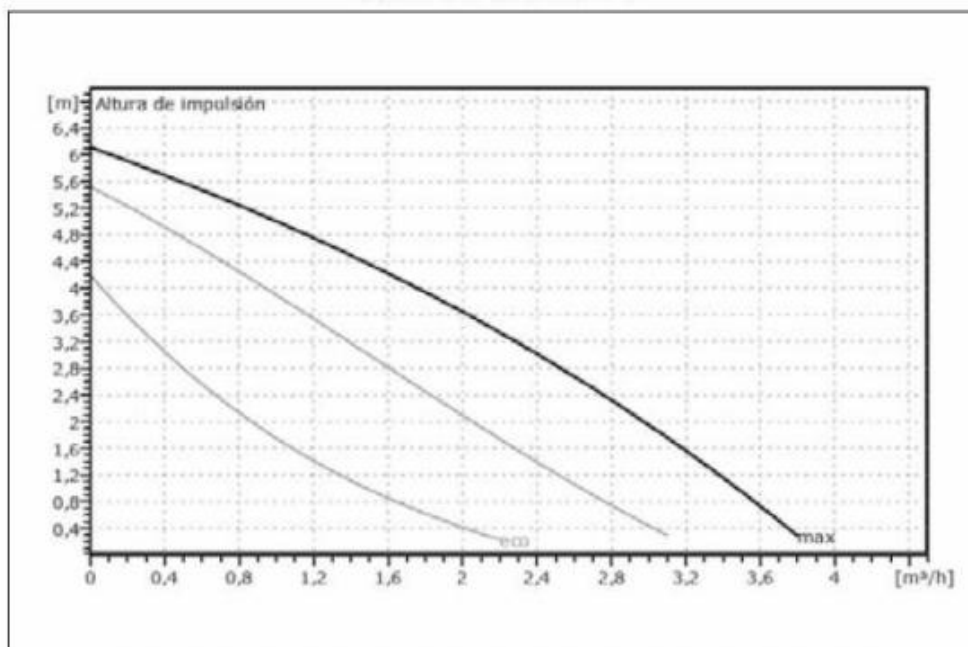
Figura 69. Bomba de circulación WILO STAR.



Fuente: WILO STAR

La curva característica de la bomba viene determinada por la siguiente gráfica:

Figura 70. Curva característica de la bomba de circulación WILO STAR.



Fuente: WILO STAR

3.5 Dimensionamiento del proyecto

El dimensionamiento del proyecto comprende los parámetros antes calculados y analizados, y para no entrar en detalle, se mencionan los mas importantes:

- Recursos energéticos disponibles
- Localización del proyecto
- Demanda energética
- Irradiación solar diaria
- Consumo ACS
- Datos climatológicos
- Selección equipos y elementos

En el proceso de calentamiento de agua por energía solar se obtiene un grado óptimo de fiabilidad que cubra la carga determinada, teniendo en cuenta el tamaño correcto de la unidad de almacenamiento y de la fuente de energía auxiliar. Es así que los equipos básicos seleccionados son:

- Colector solar de 20 tubos al vacío termosifón y 200 lt de capacidad del tanque acumulador
- Calefón de 100 lt. de capacidad

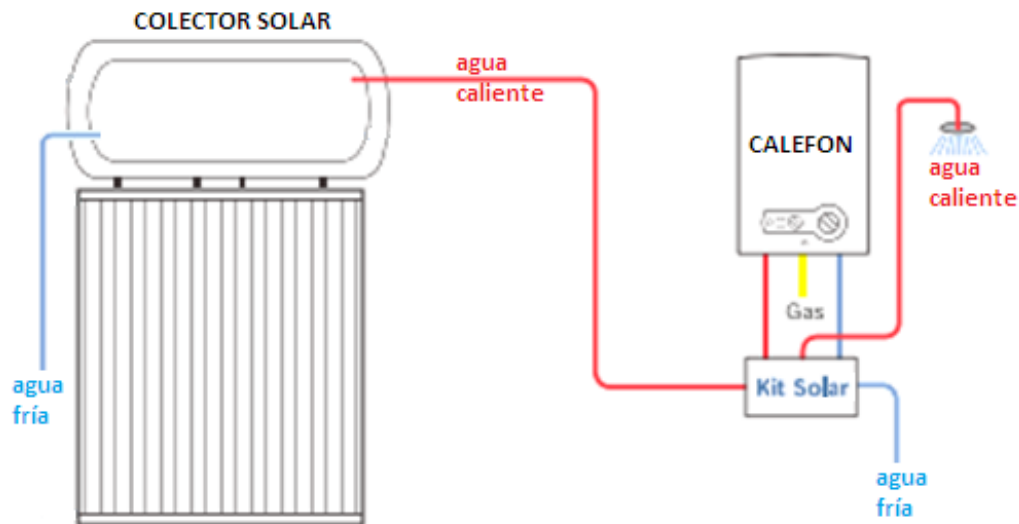
Estos trabajan juntos para generar ACS, y el KIT SOLAR los une para que el agua de suministro salga a 45 °C constante.

En zonas de baja disponibilidad de radiación, climas inestables, es necesario disponer de un sistema auxiliar (calefón) de alta fiabilidad para así evitar un sobredimensionamiento excesivo del sistema de tubos de vacío para la captación de energía solar, y evitar inversiones innecesarias.

La unión de los tres equipos colabora con lo que busca el desarrollo sostenible que es el proceso mediante el cual se satisfacen las necesidades económicas, sociales, de diversidad cultural y de un medio ambiente sano de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de las mismas a las generaciones futuras

Por lo que, un eventual sistema mixto genérico de calentamiento de agua modelo para la ciudad de Riobamba será el que se muestra a continuación.

Figura 71. Sistema mixto colector más calefón.



Fuente: Autores

La figura 71 muestra el sistema hidráulico, que es el esqueleto de toda la instalación. Todos los elementos que componen este sistema deben estar diseñados y dimensionados para cumplir los requisitos de la instalación solar. Este sistema está conformado por dos circuitos, el primario (línea azul) de alimentación de agua fría al tanque acumulador y el secundario (línea roja) lleva el ACS hasta el KIT SOLAR.

Los componentes principales del sistema hidráulico de una instalación de energía solar están unidos entre sí mediante conductos cuyo fin es el de hacer llegar los fluidos que transportan y en consecuencia su energía. Las válvulas son elementos colocados estratégicamente dentro del circuito hidráulico para regular o interrumpir el paso del agua según las necesidades del circuito.

Por último tener en cuenta que la longitud de las tuberías debe ser el más corto posible para evitar pérdidas de cargas e intentar utilizar el menor número de codos y demás elementos que favorezcan las pérdidas.

CAPÍTULO IV

4. AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA

4.1 Generalidades

Automatización Industrial (automatización; del griego antiguo auto: guiado por uno mismo) es el uso de sistemas o elementos computarizados y electromecánicos para controlar maquinarias y/o procesos industriales sustituyendo a operadores humanos. La automatización de los procesos productivos es hoy día, una necesidad en las industrias modernas que pretenden ser competitivas.

Es una disciplina de la ingeniería abarca la instrumentación industrial, que incluye los sensores, los transmisores de campo, los sistemas de control y supervisión, los sistemas de transmisión y recolección de datos y las aplicaciones de software en tiempo real para supervisar, controlar las operaciones de plantas o procesos industriales.

OBJETIVOS:

Dentro de las metas que enmarcan esta disciplina se destacan:

- Generar proyectos de procesos en los cuales se maximicen los estándares de productividad y se preserve la integridad de las personas quienes los operan.
- La capacidad de procurar la mantención y optimización de los procesos que utilicen tecnologías de automatización.
- Utilizar criterios de programación para crear y optimizar procesos.

Los sistemas de control que en nuestro caso serán instalados para la automatización del sistema mixto, se definen como el conjunto de elementos que funcionan de manera concatenada para proporcionar una salida o respuesta deseada.

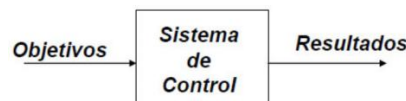
Los componentes básicos de un sistema de control son descritos por:

- a) Objetivos de Control
- b) Componentes del sistema de control

c) Resultados o salida

La relación básica entre estos tres componentes se muestra en la Fig. 72; los objetivos de control pueden ser identificados como entradas o señales entrantes, los resultados son considerados las salidas o las variables controladas; en general, el objetivo del sistema de control es controlar la salida de manera ordenada actuando los elementos de control sobre la señal de entrada.

Figura 72. Componentes básicos de un sistema de control.



Fuente: Autores

4.1.1 Tipos de Sistemas de Control. los tipos de sistemas de control más comunes son los sistemas de control a lazo abierto y los sistemas de control a lazo cerrado.

- Sistema de control a lazo abierto: es aquel sistema en el que la salida no es afectada por la señal de entrada. La salida no se realimenta para compararla con la entrada. Los elementos de este sistema están divididos en dos partes, como muestra la figura siguiente.

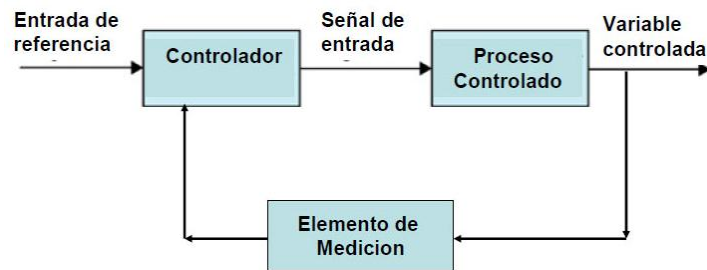
Figura 73. Elementos de un sistema de control a lazo abierto. [29]



Fuente: Autor

- Sistema de control a lazo cerrado: en este sistema el controlador se alimenta de la señal de error de desempeño, la cual representa la diferencia entre la señal de entrada y la señal de realimentación, con el fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor deseado. El término lazo cerrado siempre indica una acción de control realimentado para reducir el error del sistema.

Figura 74. Sistema de control a lazo cerrado.



Fuente: Autor

Una de las ventajas que presenta este tipo de sistema es que se hace insensible a las perturbaciones y mantiene su exactitud; de la comparación de la señal realimentada y la señal de entrada resulta la señal de error, la que es minimizada con la acción de control.

4.1.2 Características de un Sistema de Control.

- **Señal de Corriente de Entrada:** Considerada como estímulo aplicado a un sistema desde una fuente de energía externa con el propósito de que el sistema produzca una respuesta específica.
- **Señal de Corriente de Salida:** Respuesta obtenida por el sistema que puede o no relacionarse con la respuesta que implicaba la entrada.
- **Variable Manipulada:** Es el elemento al cual se le modifica su magnitud, para lograr la respuesta deseada. Es decir, se manipula la entrada del proceso.
- **Variable Controlada:** Es el elemento que se desea controlar. Se puede decir que es la salida del proceso.
- **Conversión:** Mediante receptores se generan las variaciones o cambios que se producen en la variable.
- **Variaciones Externas:** Son los factores que influyen en la acción de producir un cambio de orden correctivo.
- **Fuente de Energía:** Es la que entrega la energía necesaria para generar cualquier tipo de actividad dentro del sistema.
- **Retroalimentación:** La retroalimentación es una característica importante de los sistemas de control de lazo cerrado. Es una relación secuencial de causas y

efectos entre las variables de estado. Dependiendo de la acción correctiva que tome el sistema, este puede apoyar o no una decisión, cuando en el sistema se produce un retorno se dice que hay una retroalimentación negativa; si el sistema apoya la decisión inicial se dice que hay una retroalimentación positiva.

- **Variables de fase:** Son aquellas que resultan de la transformación del sistema original a la forma canónica controlable. De aquí se obtiene también la matriz de controlabilidad cuyo rango debe ser de orden completo para controlar el sistema.

4.2 Alternativas:

La automatización del sistema se realiza a través de dos alternativas, la primera un sistema eléctrico y la segunda el sistema a gas con el KIT SOLAR, teniendo así:

4.2.1 Sistema Eléctrico. Todo el sistema eléctrico garantiza el suministro de agua fría hacia el colector solar, según el consumo de ACS; es así que se necesita de tres elementos fundamentales, que son:

- Panel de control
- Electroválvula
- Sensor de Nivel

4.2.1.1 Panel de control. El Panel de control es un dispositivo inteligente diseñado para cambiar la configuración tanto de la electroválvula como del sensor de nivel, ya que el usuario puede en el momento que lo desee cambiar las opciones que están predeterminadas, como: ajustar la cantidad de agua que se desee acumular en el tanque, cambiar el tiempo para el ingreso de agua al tanque colector o cuando el usuario lo quiera, solo presionando el botón de color verde señalado por una pequeña llave de paso, etc.

Figura 75. Panel de control



Fuente : Solar water

El panel de control seleccionado es el regulador térmico diferencial controlado por Microprocesador, de la marca SOLAR WÁTER, en el mercado es conocido como, REGULADOR M6 modelo FY-18 para el calentador de agua solar, de procedencia China cumple con múltiples funciones, las principales:

- Control de gua de alimentación,
- Mide el tiempo de sincronización con la calefacción,
- Previene el desbordamiento de fluido del colector,
- Memoria automática,
- Power-cut, (preservación),
- Control de una bomba de sobrealimentación,
- Control automático de calefacción,
- Registra temperaturas.

Además de controlar el nivel de agua en el tanque acumulador, a través de la electroválvula y el sensor, posee otras opciones:

Ficha técnica:

1. Recurso de energía: consumo de energía 220VAC: <5W
2. Precisión del detector de Temperatura: $\pm 2^{\circ}\text{C}$

3. Gama del detector de Temperatura: 0-99°C
4. Precisión del control de Temperatura: $\pm 2^{\circ}\text{C}$
6. Energía de la bomba controlable o de la correa del calentador eléctrico: $<500\text{W}$
7. Tamaño controlable del esquema del calentador eléctrico power $<2000\text{w}$: 17X11X4 cm
8. Salida eléctrica current $\leq 10\text{mA}/0,1\text{S}$
9. Valor magnético eléctrico de la válvula: el valor de 12V-DC, a presión y no presurizado es alternativo
10. Presión de funcionamiento con la válvula: 0,02MPa-0,8MPa, conveniente para el abastecimiento de agua directo
11. Presión de funcionamiento sin la válvula: 0,01MPa, conveniente para el abastecimiento de agua del tanque o el abastecimiento de agua de baja presión

Es así que permite setear los niveles de agua que queremos que nuestro tanque reserve, estos valores pueden estar entre 20, 50, 80 y 100%, y se muestran en una pequeña rueda iluminada según el nivel, 20% verde y rojo para 100%, full.

4.2.1.2 Electroválvula. Es una válvula electromecánica, diseñada para controlar el flujo de un fluido a través de un conducto como es una tubería. La válvula está controlada por una corriente eléctrica a través de una bobina solenoidal, como se muestra a continuación.

Figura 76. Electroválvula.



Fuente: solar wáter

Esta electroválvula consta de las siguientes partes:

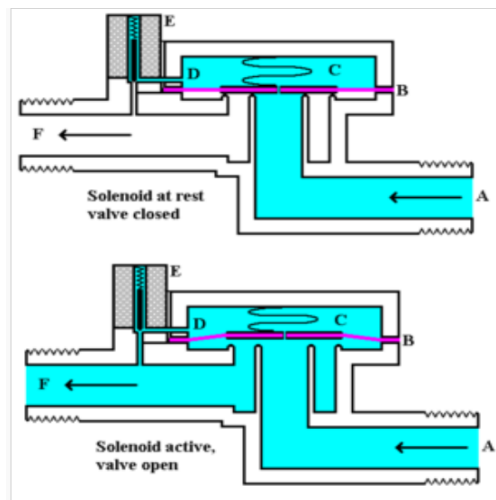
- A- Entrada
- B- Diafragma

- C- Cámara de presión
- D- Conducto de vaciado de presión
- E- Solenoide
- F- Salida.

Una electroválvula tiene dos partes fundamentales: el solenoide y la válvula. El solenoide convierte energía eléctrica en energía mecánica para actuar la válvula.

Es claro que la válvula se mantiene cerrada por la acción de un muelle y que el solenoide la abra venciendo la fuerza del muelle. Esto quiere decir que el solenoide debe estar activado y consumiendo energía mientras la válvula deba estar abierta.

Figura 77. Detalle electroválvula



Fuente : Automatización

El gráfico adjunto muestra el funcionamiento de este tipo de válvula. En la parte superior vemos la válvula cerrada. El agua bajo presión entra por A. B es un diafragma elástico y tiene encima un muelle que le empuja hacia abajo con fuerza débil. El diafragma tiene un diminuto orificio en el centro que permite el paso de un pequeño flujo de agua. Esto hace que el agua llene la cavidad C y que la presión sea igual en ambos lados del diafragma. Mientras que la presión es igual a ambos lados, vemos que actúa en más superficie por el lado de arriba que por el de abajo por lo que presiona hacia abajo sellando la entrada. Cuanto mayor sea la presión de entrada, mayor será la fuerza con que cierra la válvula.

El conducto D estaba bloqueado por el núcleo del solenoide E al que un muelle empuja hacia abajo. Si se activa el solenoide, el núcleo sube y permite pasar el agua desde la cavidad C hacia la salida con lo cual disminuye la presión en C y el diafragma se levanta permitiendo el paso directo de agua desde la entrada A a la salida F de la válvula. Esta es la situación representada en la parte inferior de la figura.

Si se vuelve a desactivar el solenoide se vuelve a bloquear el conducto D y el muelle situado sobre el diafragma necesita muy poca fuerza para que vuelva a bajar ya que la fuerza principal la hace el propio fluido en la cavidad C.

4.2.1.3 Sensor de Nivel. Los sensores de nivel son dispositivos cuya finalidad es la de garantizar el nivel del agua en un rango de variación preestablecido.

Figura 78. Sensor de nivel.



Fuente: Solar water

El control del nivel máximo del agua en un tanque de almacenamiento tiene la doble función de garantizar la seguridad de las estructuras y de evitar el desperdicio de agua. El control del nivel máximo se hace mediante un sensor de nivel conectado en alguna forma, ya sea mecánica o electrónica con la operación de una válvula a la entrada del tanque. Como todo mecanismo siempre puede fallar en el momento de su operación, es importante que el tanque disponga de un sistema de seguridad de funcionamiento totalmente automático como por ejemplo un vertedero libre, eventualmente conectado con una alarma.

Además de controlar el nivel de agua en el tanque colector, también mide la temperatura en el interior.

Datos básicos

- Lugar del origen: China

- Marca: Railen
- Longitud del sensor: los 37cm, los 39cm, los 42cm
- Longitud de cable del sensor: los 20m, los 24m, los 30m
- Tamaño del sensor: hilo de rosca del 1/2 ", para evitar fugas.

Figura 79. Cabeza del sensor con rosca.

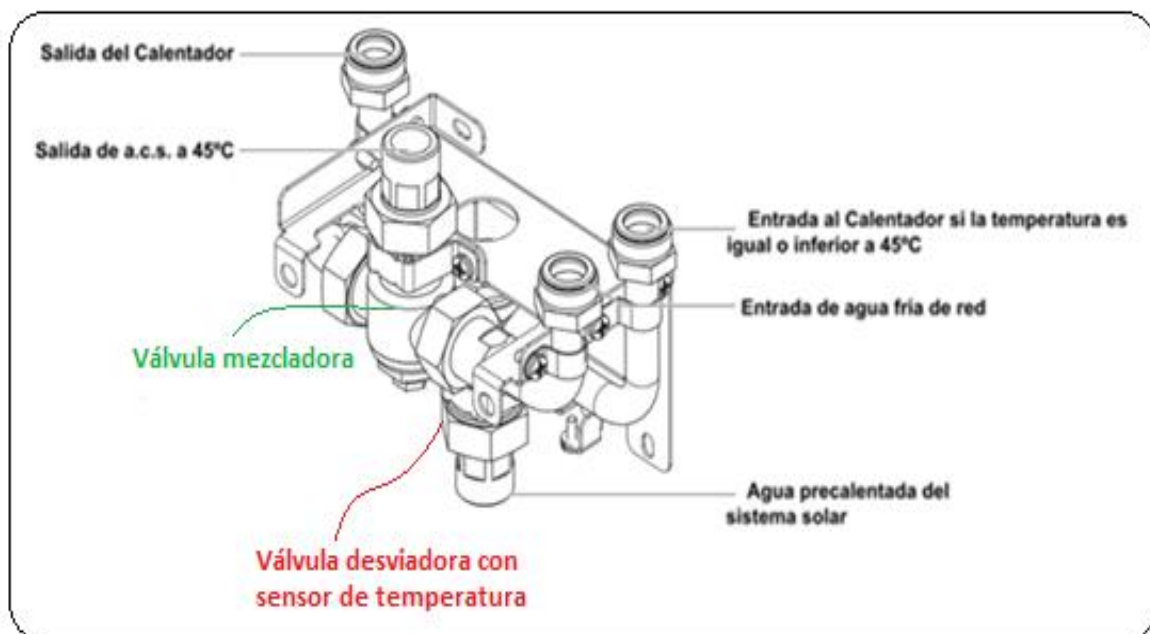


Fuente: solar wáter

4.2.2 Sistema a Gas. El sistema a gas o auxiliar al colector solar garantiza que el suministro de ACS nunca varíe de 45 °C, ya que la radiación solar nunca será la misma todos los días, debido a cambios climáticos, lluvias, días nublados, etc.

Es así que este sistema se automatizó gracias al KIT SOLAR (apartados 2.19 y 2.20) quien gracias a sus compuertas y sensores internos, garantizan la temperatura constante.

Figura 80. Detalle del KIT SOLAR.



Fuente: Bosch

4.3 Elementos principales del sistema de control (MDA)

4.3.1 Sistema Eléctrico.

- “M” Medición.- Sensor de Nivel
- “D” Decisión.- Panel de Control
- “A” Acción.- Electro Válvula

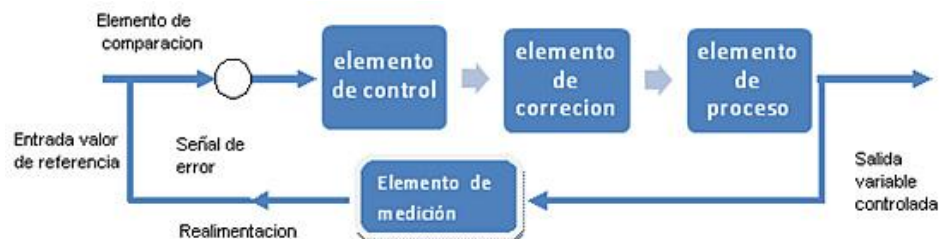
4.3.2 Sistema a Gas (KIT SOLAR).

- “M” Medición.- Sensor alojado en la válvula desviadora
- “D” Decisión.-Válvula Desviadora
- “A” Acción.- Válvula Mezcladora

4.4 Funcionamiento:

Ambas alternativas son de Lazo Cerrado, ya que la acción a controlar depende de la salida.

Figura 81. Representación de un diagrama de lazo cerrado.



Fuente: Autores

En un sistema de control en lazo cerrado, se alimenta al controlador la señal de error de actuación, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación (que puede ser la señal de salida misma o una función de la señal de salida y sus derivadas y/o integrales) a fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente. El término control en lazo cerrado siempre implica el uso de una acción de control realimentando para reducir el error del sistema.

La Realimentación: Se caracteriza por el hecho que la variable controlada es medida por un sensor y esta información medida es regresada al controlador que influye sobre la variable controlada.

4.4.1 Elementos Básicos.

1. Elemento de medición: Este elemento produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada, y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no error, este trabajo lo hacen los sensores de nivel y temperatura, respetivamente para ambos sistemas.

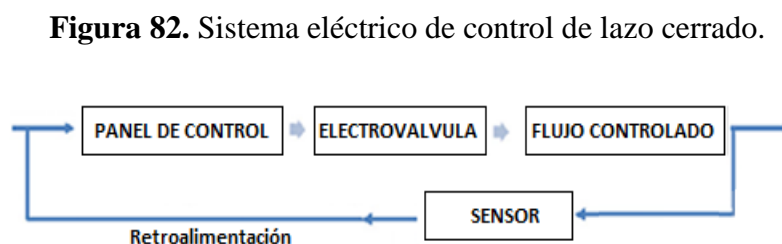
2. Elemento de control: Los elementos son la electroválvula y la válvula mezcladora, ya que estos elementos deciden que acción tomar cuando se recibe una señal de error.

3. Elemento de corrección: Este elemento se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error, prácticamente en nuestro sistema viene a ser los mismos elementos que los de control.

4. Elemento de comparación: Este elemento compara el valor requerido o de referencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida, y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido. En nuestro sistema este elemento vendría a ser el panel de control y la válvula desviadora, respectivamente para los sistemas: eléctrico y a gas.

5. Elemento de proceso o planta: Es el sistema dónde se va a controlar la variable. Diferentes para nuestro caso: el sistema eléctrico actúa directamente al tanque colector, mientras que el sistema a gas con el KIT SOLAR abarca todo: el colector solar y el calefón, formando así el sistema para producir ACS con sistema auxiliar automatizado.

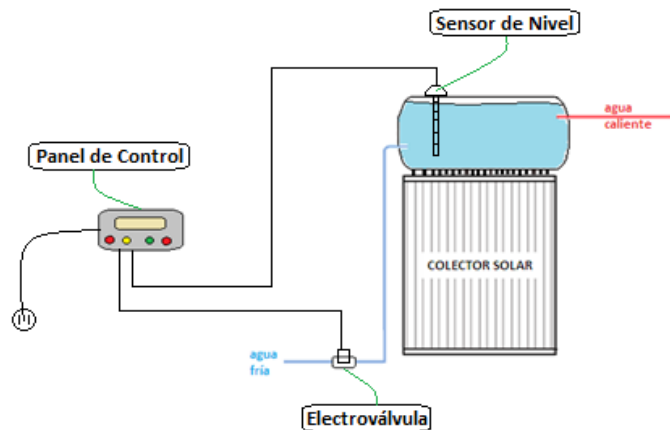
4.4.2 Sistema Eléctrico. Como ya lo dijimos viene a ser un sistema de control de lazo cerrado, diagramado a continuación:



Fuente: Autores

Este sistema es un típico medidor de nivel, en el cual el SENSOR DE NIVEL mide la cantidad de agua previamente seteada en el PANEL DE CONTROL, y este último lo que hace es dar la orden a la ELECTROVÁLVULA para que se abra o cierre dependiendo del consumo de ACS, garantizando así flujos de agua fría y caliente constantes y un tanque reservorio siempre lleno.

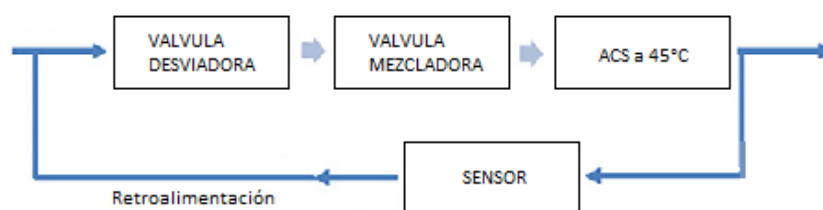
Figura 83. Sistema eléctrico controlador de nivel.



Fuente:Autores

4.4.3 Sistema a Gas (KIT SOLAR. El sistema a gas, es un sistema de control de lazo cerrado, mostrado a continuación:

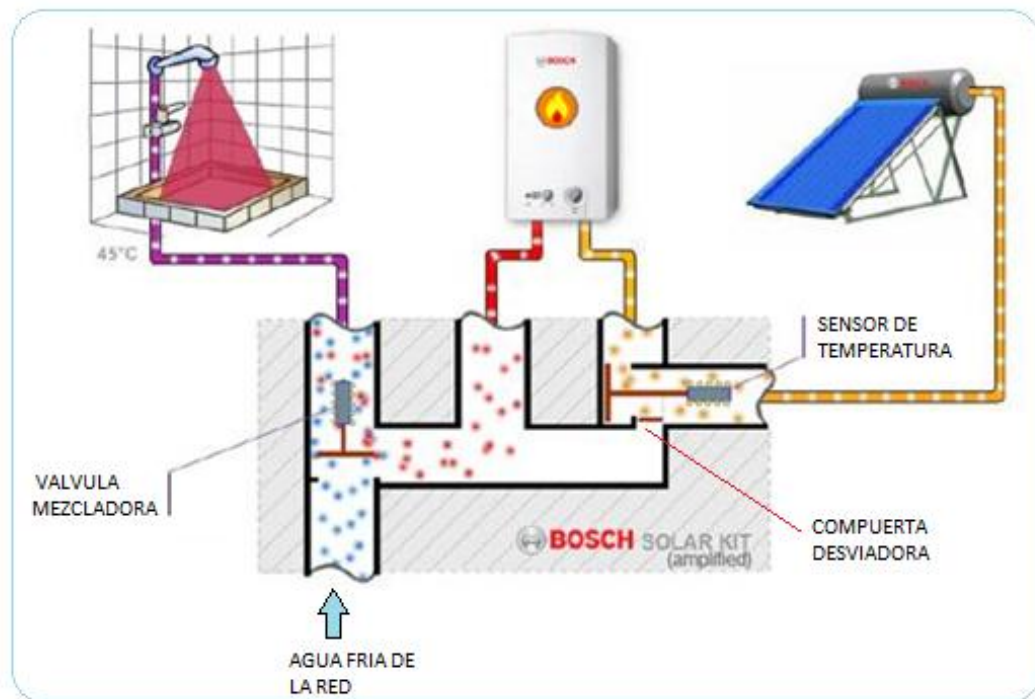
Figura 84. Sistema a gas de control de lazo cerrado.



Fuente: Autores

El KIT SOLAR a través de un sensor de temperatura alojado en la válvula desviadora, desvía automáticamente el agua que no llegue a 45 °C hacia el calefón y suba a la temperatura deseada, y si el ACS llega a una temperatura superior a 45 °C la compuerta desviadora se abre para que se mezcle directo con agua fría de la red, como muestra el siguiente diagrama

Figura 85. Funcionamiento interno del KIT SOLAR.



Fuente: Bosch

CAPÍTULO V

5. PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PARA EL CALENTAMIENTO DEL AGUA

5.1 Parámetros de diseño del sistema

5.1.1 *Parámetros atmosféricos.*

- Temperatura ambiente medias $13,3^{\circ}\text{C}$
- Temperatura ambiente máxima $23,7^{\circ}\text{C}$
- Humedad media 66%
- Humedad máxima 93,6%
- Heliofania Horas de sol media 161,6
- Heliofania Media horas de sol 5,1
- Radiación solar local $850,18 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right)$

5.1.2 *Parámetros del sistema.*

- Demanda energética 0,8458 kw
- Área del colector solar $2,5 \text{ m}^2$
- Consumo máximo (lt/día) 200
- Eficiencia colector solar 0,5 %
- Número de personas promedio: 5 (el promedio por vivienda en Riobamba es 4 personas y se considera un margen de seguridad del 25%)
- Temperatura del agua de la ciudad de Riobamba: $12,3^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de salida del agua caliente: 45°C
- Número de horas de trabajo del sistema: 9 horas
- Caudal de agua por persona/día: 50 lt.–persona/día a 45°C

5.2 Indicadores técnicos (calor útil, calor total, pérdidas de energía, eficiencia)

Parámetros previos al cálculo:

- 1.4 cilindros consume una familia de 4 personas al mes para producir ACS.

- Un cilindro de gas doméstico posee 15 kg de GLP

5.2.1 Calefón

5.2.1.1 Calor total (calor generado). Es la cantidad de calor que está generando actualmente con el uso de GLP se evalúa de la siguiente manera:

$$Q_c = \dot{m} C_e \quad (15)$$

Sabemos que:

- Q_c : calor generado por el calentador
- \dot{m} : flujo másico del gas (0,75 kg/h por simple inspección)
- C_e : Poder calorífico del gas GLP 10986,62 kcal/kg = 46,054 kJ/kg

$$Q_c = 0,75 \left(\frac{kg}{h} \right) 10\,986,62 \left(\frac{kcal}{kg} \right)$$

$$Q_c = 8\,240 \left(\frac{kg}{h} \right)$$

$$Q_c = 34,5 \left(\frac{MJ}{h} \right)$$

Pero bien, para saber la cantidad total de calor disipado en un día, se multiplica el último Q_c . por el tiempo que una persona se baña (15 min aproximadamente), y como las pruebas se toman para una familia de 4 personas, entonces:

$$Q_c = 34,5 \left(\frac{MJ}{h} \right) 1(h) = 34,5 MJ$$

$$Q_c = 32\,701,515 Btu \text{ (proceso)}$$

En la tabla a continuación se muestran los valores calculados con las aproximaciones de consumo de calor y GLP en un día, mes y año.

Tabla 29. Cálculo del calor generado con GLP

	Calor Generado (GLP) en el proceso de conseguir ACS			
	Datos	Día	Mensual	Anual
# Cilindro GLP (15 kg)	1	0,0467	1,4	16,8
MJ	738,75803	34,5	1034,261242	12411,1349
BTU	700,246,57	32701,515	980345,2034	11764142,44

Fuente: Autores

5.2.1.2 Calor útil (calor absorbido). Es el calor absorbido en el interior por el Agua (Calor útil), se calcula por la siguiente ecuación:

$$Q_a = C_e \ m \ (t_{sal} - t_r)np \quad (16)$$

Se tiene que:

- Q_a : Energía Térmica necesaria [J/mes]
- C_e : Calor específico del agua (4187 J/kg. °C).
- m : Caudal [lts/día] (200lts/día)
- t_{sal} : Temperatura de salida ACS (45 °C).
- t_r : Temperatura media del agua fría de la red (12,3 °C).
- n : Número de días del mes que se considera.
- ρ : Densidad del agua [1 kg/lts]

$$Q_a = 0,004187 \left(\frac{MJ}{kg \ ^\circ C} \right) 200 \left(\frac{lt}{día} \right) (45 - 12,3)^\circ C \ 1(día)1 \left(\frac{kg}{lt} \right)$$

$$Q_a = 27,4 \ MJ$$

$$Q_a = 25 \ 971,56 \ Btu \ (Proceso)$$

Tabla 30. Cálculo del calor absorbido en el día, mes y año.

	Calor Absorbido en el proceso de conseguir ACS			
	Datos	Día	Mensual	Anual
# Cilindro GLP (15 kg)	1	0,0467	1,4	16,8
MJ	586,7237687	27,4	821,4132762	9856,959315
BTU	556,136,19	25971,56	778590,6638	9343087,966

Fuente: Autores

5.2.1.3 Pérdidas de energía. Las pérdidas que se producen en el proceso actual con el uso de GLP, se evalúa de la siguiente manera:

$$\text{Pérdidas de Calor} = \text{Calor Generado} - \text{Calor Absorbido} \quad (17)$$

$$\text{Pérdidas de Calor} = 34,5 \text{ MJ} - 27,4 \text{ MJ}$$

$$\text{Pérdidas de Calor} = 7,1 \text{ MJ}$$

$$\text{Pérdidas de Calor} = 6729,877 \text{ Btu (Proceso)}$$

$$\text{PérdidasdeCalortotal} = \frac{6729,877 \text{ Btu}}{32701,515 \text{ Btu}} (100)$$

$$\text{PérdidasdeCalortotal} = 20,56 \%$$

5.2.1.4 Eficiencia. El término eficiencia es muy usado en la termodinámica, ya que nos indica que también se está realizando una transferencia de energía.

El rendimiento térmico o eficiencia de un calefón es una magnitud de proceso y adimensional, definida como el cociente de la energía que deseamos obtener de dicha máquina y la energía que se debe transferir para su funcionamiento.

El desempeño o eficiencia se expresa en términos de calor absorbido y el calor generado.

Para lograr la eficiencia del uso de GLP se utiliza la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{\text{Calor absorbido}}{\text{Calor generado}} (100) \quad (18)$$

$$\eta = \frac{25\,971,56\,Btu}{32\,701,515\,Btu} \quad (100)$$

$$\eta = 79,42\%$$

5.2.1.5 Emisiones de CO₂ a la Atmósfera. La cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera por el uso de GLP como combustible del calefón, se calcula de la siguiente manera: Los calefones consumen diariamente 0,0467 cilindros de gas o 0,7005 kg de GLP.

Dato: 1kg GLP emite 2,7kg CO₂ [22]

Entonces:

$$masa_{CO_2} = Consumo_{GLP} Emisiones_{CO_2} \quad (19)$$

$$masa_{CO_2} = \left(0,7005 \frac{kg_{GLP}}{día}\right) \left(\frac{2,7\,kg_{CO_2}}{1\,kg_{GLP}}\right)$$

$$masa_{CO_2} = 1,89 \frac{kg}{día}$$

5.2.2 Colector Solar

5.2.2.1 Calor total. El calor total no es más que la cantidad de calor que se está generando gracias a la radiación solar incidente diaria en el lugar.

Este calor se calcula por la ecuación:

$$Q_t = S \left(radiación_{solar\,incidente\,en\,el\,colector} \left[\frac{W}{m^2} \right] \right) \quad (20)$$

Entonces:

$$Q_t = S = 850,18 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

5.2.2.2 Pérdidas de energía por la disposición geométrica de los colectores. La disposición del colector en el campo de captación puede originar pérdidas que reducen el rendimiento de la instalación. Hay tres posibles tipos de pérdidas debidas a la colocación del colector:

- las pérdidas debidas a la orientación según la desviación respecto al Sur geográfico,
- las pérdidas debidas a la inclinación desviando la recepción ortogonal de la radiación solar, y
- las pérdidas derivadas de los obstáculos en el entorno que producen sombras.

Las condiciones relativas a las pérdidas nos dicen que la orientación e inclinación del sistema generador y las posibles sombras sobre el mismo serán tales que las pérdidas sean inferiores a los límites de la tabla que se expone a continuación:

Tabla 31. Pérdidas límites.

Caso	orientacion e Inclinacion	sombras	total
General	10%	10%	15%
Superposicion	20%	15%	30%
Integracion arquitectonica	40%	20%	50%

Fuente: CTE

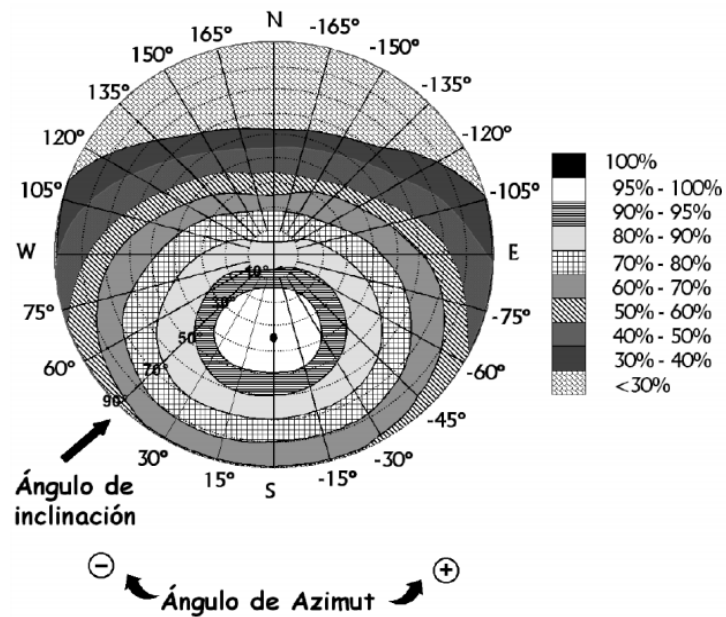
Dicha tabla considera tres casos:

- General: El porcentaje de sombras debe ser inferior al 10%
- Superposición: El porcentaje de sombras debe ser inferior al 15%
- Integración Arquitectónica: El porcentaje de sombras debe ser inferior al 20%

Para determinar las pérdidas por orientación e inclinación son fundamentales dos valores:

- Ángulo de inclinación (β), definido como el ángulo que forma la superficie de los captadores con el plano horizontal. En nuestro caso $\beta=45^\circ$
- Ángulo de Azimut (α), definido como el ángulo entre la proyección sobre el plano horizontal de la normal a la superficie del captador y meridiano del lugar. En nuestro caso orientación sur.

Figura 86. Ángulo de azimut.



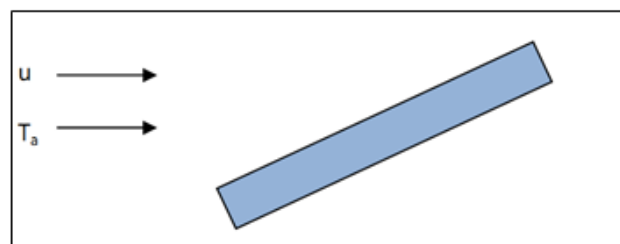
(Fuente: CTE)

Por tanto, mirando el gráfico con nuestros valores y como el ECUADOR se encuentra en la mitad del mundo, tenemos entre un 90% a 95% de aprovechamiento de energía irradiada por el sol. Se puede afirmar que las pérdidas producidas en los paneles son inferiores al 5%.

• Pérdidas Producidas por Viento

Las pérdidas que a continuación se detallan se producen por las acciones sobre los colectores solares debidas al efecto del viento, conducción, convección o radiación que se produce sobre los mismos.

Figura 87. Pérdidas en los colectores.



(Fuente: CTE)

- **Resistencia de los tubos (R tubo)**

$$R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}{2 \pi K_{Cu} L_{tubo}} \quad (21)$$

Como nuestro colector está compuesto por 20 tubos al vacío de boro silicato de $L = 1,75$ m, un diámetro exterior de $D_{ext} = 6,5$ cm y un espesor $e = 5$ mm, la resistencia de cada tubo será:

$$R_{tubo} = \frac{\ln\left(\frac{6,5}{5,5}\right)}{2 \pi (1,2) (1,75)} = 0,014 \left(\frac{k}{w}\right)$$

Siendo,

$$K_{\text{boro silicato}} = 1,2 \left(\frac{w}{m^{\circ}K}\right)$$

Pero como tenemos 20 tubos en paralelo:

$$R_{tubos} = \frac{R_{tubo}}{20} = \frac{0,014}{20} = 7(10^{-4}) \left(\frac{k}{w}\right)$$

- **Resistencia por convección en el interior de los tubos (Rint)**

Para proceder con el cálculo de esta resistencia, se aplica la ecuación de Dittus- Boelter como se muestra a continuación:

$$Nu_D = 0,023 Re_D^{4/5} Pr^{0,4} \quad (22)$$

Para ello, se calcula del número de Reynolds de la siguiente manera:

$$Re_D = \frac{4 m}{\pi D_{int} \mu} \quad (23)$$

El caudal circulante se divide por el número de tubos que posee nuestro colector, así los datos que tenemos son los siguientes:

$$\dot{m} = 2,91 \times 10^{-3} \left(\frac{kg}{seg} \right)$$

$$\mu = 1,5 \times 10^{-3} \left(\frac{kg}{m \cdot seg} \right)$$

$$D_{int} = 7,5 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$K_{mezcla} = 0,48 \left(\frac{W}{m^{\circ}K} \right)$$

$$Pr = 9$$

Sabidos estos valores, el número de Nusselt será:

$$Nu_D = 5,72$$

Con estos datos calcular el coeficiente de flujo convectivo,

$$h_D = \frac{Nu_D K_{mezcla}}{D_{int}} = 366,2 \left(\frac{W}{m^{\circ}K} \right) \quad (24)$$

Con estos valores ya calculados, hallar la resistencia por convección en el interior de los tubos de la siguiente manera:

$$R_{int} = \frac{1}{h_D \pi D_{int} L_{tubo}} = 0,057 \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right) \quad (25)$$

Pero como nuestro colector está formado por 20 tubos, la resistencia final será:

$$R_{intt} = \frac{R_{int}}{20} = 2,85 \times 10^{-3} \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right)$$

Una vez conocidas todas las resistencias en la rama de calor útil, la resistencia total será la suma de las 2 anteriores,

$$R_{Tutil} = R_{tubo} + R_{intt} = 0,222222 \left(\frac{^{\circ}K}{W} \right) \quad (26)$$

Así pues, esta instalación, de inclinación 45°, cumple los requisitos de pérdidas por orientación, inclinación y viento, mismas que son muy bajas por lo tanto a la hora de realizar los cálculos se tomaran como un 5 % del calor admitido, esto para no despreciar las pérdidas.

O bien como el equipo es seleccionado, se toma el dato de perdidas del catalogo.

5.2.2.3 Calor útil (Q_u). Calor útil es el calor absorbido por el Agua, y se calcula por la siguiente ecuación:

$$Q_u = F_{\text{óptico}}(Q_{ad} - Q_R) \quad (27)$$

Donde:

- $Q_{ad} = \text{calor admitido} \left[\frac{W}{m^2} \right]$
- $Q_R = \text{calor rechazado} \left[\frac{W}{m^2} \right]$
- $F_{\text{óptico}} = \text{factor óptico}$

El factor óptico, o factor de rendimiento térmico máximo del colector de tubos concentradores, también se la llama ganancia máxima del colector o factor de ganancia óptica, representa físicamente el origen de la curva de rendimiento en el eje de ordenadas y es la razón de ganancia de calor útil a la ganancia de calor ideal si toda la superficie estuviese a la temperatura del fluido a la entrada de los tubos.

Se recomienda para cálculos de 0,8 a 0,9 este factor óptico. (8)

Entonces:

$$Q_u = 0,85(850,18 - 34,42)$$

$$Q_u = 693,4 \left(\frac{W}{m^2} \right)$$

5.2.2.4 Eficiencia (n). Para determinar el rendimiento del colector solar se realizaron ensayos bajo condiciones variadas de radiación solar, temperatura, viento, etc.

Los resultados de estos ensayos determinan el comportamiento del colector solar. Este comportamiento mide la relación entre la energía útil y la recibida en el captador buscando un indicador de su rendimiento.

La expresión que determina el rendimiento de un colector solar es:

$$n = \frac{Q_u}{Q_A} (100) \quad (28)$$

$$n = \frac{693,4 \left(\frac{w}{m^2} \right)}{850,18 \left(\frac{w}{m^2} \right)} (100)$$

$$n = 81,56 \%$$

5.3 Análisis de sistemas mixtos para calentamiento de agua[30]

▪ Sistema mixto:Solar + Gas

Dadas las características climáticas del Ecuador, se considera apropiado el uso de un sistema híbrido compuesto con un colector solar que cubra el 80 o 90% de las necesidades energéticas de ACS y el resto por un sistema auxiliar, como un calefón. Bajo este esquema, el uso de sistemas solares en los hogares beneficiarios haría disminuir en 90% el consumo de GLP para calentamiento de agua, pero para compensar el porcentaje (10 a 20%) que ocasionalmente podría faltar a causa de días nublados o picos, que sería muy poco.

Dado que el Estado subsidia con US\$ 0,69 el Kg de GLP, el margen de ahorro monetario para el Estado, por combustibles no consumidos, sería de entre US\$ 173,55 y US\$ 248,07 por familia al año. Dado la existencia de los subsidios las familias ahorrarían entre US\$ 18,63 y US\$ 30,51 al año. La suma de los ahorros del Estado y familiar estaría entre US\$ 192,18 y US\$ 278,58 por familia al año.

▪ Sistema mixto:Solar + Eléctrico

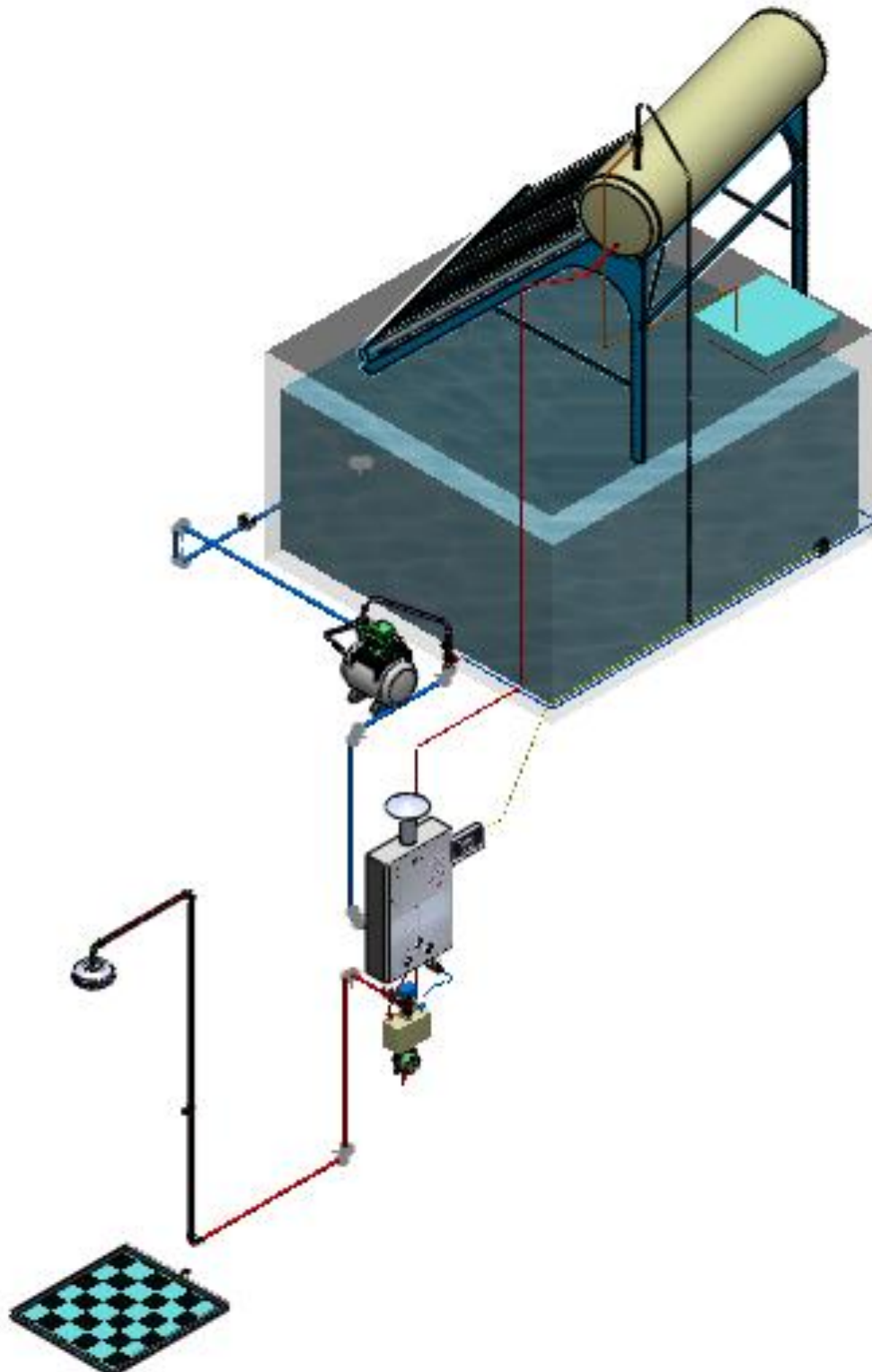
Existen colectores solares que poseen una resistencia eléctrica interna para suplir en días nublados la falta de temperatura en el agua y el consumo eléctrico en promedio sería 11,12 kw-h/mes, ya que el sistema auxiliar sería eléctrico.

Hay que considerar que muchas familias utilizan exclusivamente sistemas eléctricos para calentar agua y que el consumo mensual promedio de electricidad para calentamiento de agua en estos casos es de 55,6 kw-h. Con el uso de sistemas solares dimensionados para este proyecto se tendría un ahorro de aproximadamente 96% del consumo de electricidad para el calentamiento de agua, lo que conlleva a

un ahorro mensual de 44,48 kw-h. Tomando como referencia que el precio del kw-h de electricidad para los usuarios es de cUS\$ 8,3 y que el Estado estaría subvencionando en cUS\$ 0,3 el kw-h, las familias beneficiarias de este proyecto tendrían un ahorro anual de US\$ 46,29 y el Estado de US\$ 1,67, es decir que el ahorro total neto sería de US\$47,96 al año.

5.4 Esquema del sistema de calentamiento de agua

Figura 88. Plano de instalacion



Fuente: Autores

5.5 Instalación del sistema

Hoy en día las variantes a la hora de una instalación solar son múltiples, y en función de las necesidades de la vivienda nos decantaremos por un tipo de esquema o por otro. Sin embargo, en la práctica, en la totalidad de los circuitos se combinará el uso de los colectores junto con un acumulador que nos pueda abastecer en los días donde el sol no nos pueda cubrir la demanda necesaria.

En este tipo de instalaciones cabe recordar que uno de los objetivos es lograr el máximo ahorro de energía posible, lo que directamente condicionará un ahorro de dinero.

El primer paso será proveer a la instalación el área de captación suficiente para poder aprovechar la energía para cubrir las demandas mínimas necesarias. Todo este proceso de aprovechamiento necesitará de un sistema de regulación que consiga que la mayoría de la energía solar conseguida por el captador se convierta en energía realmente útil.

Como en diversas ocasiones, nos encontraremos que la energía solar que captan los colectores no será suficiente para abarcar todas las necesidades de la vivienda, en estos casos tendremos que asegurar el correcto acoplamiento entre la energía solar y la auxiliar, es decir, para los casos en los cuales sea necesario. Obviamente el sistema tendrá la obligación de dar prioridad al consumo de energía obtenido gracias al sistema solar que a la energía que podemos obtener gracias al sistema de auxiliar de la instalación.

La instalación se hizo de acuerdo a los siguientes pasos:

- a. Selección de la vivienda donde se aprovechara la energía generada por el sistema mixto automatizado.

Figura 89. Hospital de 5 plantas



Fuente: Autores

- b.** Selección de un lugar plano idóneo para que se asiente la estructura del colector, para nosotros es la azotea.
- c.** EL colector se implementará en súper posición al tanque reservorio. La fijación mecánica de la estructura sobre este se realizará directamente con taco Fisher y tornillos ajustados al armazón sin modificar mayormente el techo, en posición norte-sur.

Figura 90. Fijacion de la estructura al tanque



Fuente: Autores

- d.** Colocar y ajustar los tirantillos, a los postes principales.

Figura 91. Estructura completa



Fuente: Autores

- e.** Fijar el tanque colector a la estructura con tornillos, luego introducir los tubos de vacío al mismo con su empaque de goma respectivo y empujarlos para que se asienten a la base.

Figura 92. Esquema de instalacion a).Tanque ajustado, tubos fijados a presion y b) asentados a la base.



Fuente: Autores

El tanque acumulador consta de las siguientes entradas y salidas de instalación, todas de ½ plg.:

- Una boca de ingreso con rosca de ½ “.
 - Una boca de salida con rosca de ½ “.
 - Una boca para el drenado.
 - Una boca para ubicar el sensor de nivel y temperatura, además hará las veces de válvula de alivio.
- f. Conectar el circuito primario al tanque colector con tubería HIDRO 3 de ½ plg y sus diferentes accesorios (por la irregularidad de la superficie), para la alimentación de agua fría, este ira desde una bomba que estaba instalada previamente en el edificio, la bomba impulsa el fluido desde el tanque reservorio hasta las diferentes salidas y al circuito. Además, está relacionada con el circuito secundario mediante el KIT SOLAR y su abastecimiento de agua fría de la red para realizar la mezcla.

Figura 93. Circuito primario a) conexión a la bomba
b) desviación al tanque reservorio c) conexión electroválvula
d) válvula de bola y llegada al tanque acumulador.

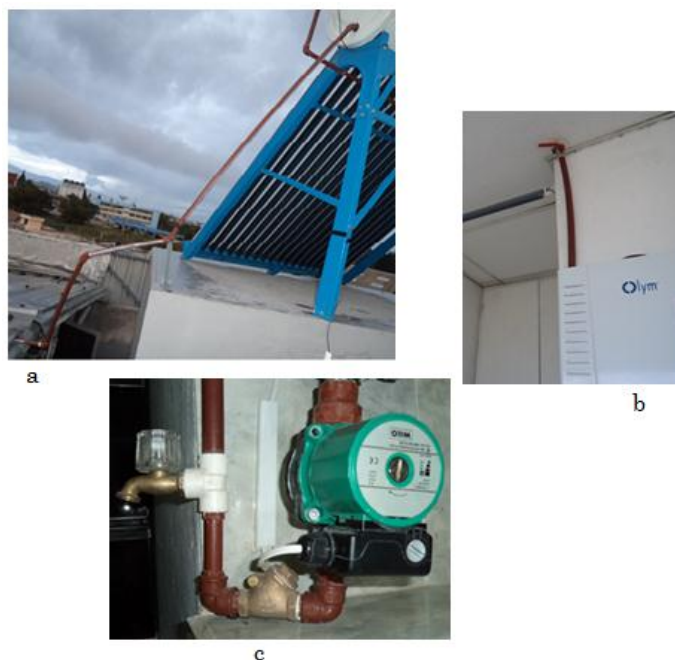


Fuente: Autores

En el circuito primario además se instala una válvula de bola a la entrada del tanque, una universal y la electroválvula antes de la de bola, esto por motivos de seguridad, mantenimientos preventivos y para el abastecimiento de agua fría.

- g.** Conectar el circuito secundario al tanque colector con tubería HIDRO 3 de ½ plg más accesorios, para la salida de ACS, este ira desde la salida del tanque hasta una bomba de recirculación, pero igual que el circuito principal va a poseer una válvula de bola, universal y una check antes de la bomba, para evitar el retorno del agua caliente a la red.

Figura 94. Circuito secundario a) salida del tanque b) valvula de bola y entrada de la tuberia c) llegada a la bomba de recirculacion.



Fuente: Autores

- h.** Fijar el KIT SOLAR a la pared con los tornillos que trae el equipo, el KIT ira cerca de las tuberías tanto de entrada de agua caliente y salida de agua fría.

Figura 95. Fijacion KIT SOLAR.



Fuente: Autores

- i.** Fijar el calefón a la pared, por encima del KIT SOLAR, para facilitar las conexiones entre ambos. Colocar la chimenea a la salida de los gases de combustión. Además instalar la válvula de gas al cilindro y las pilas.
- j.** Conectar el calefón y el cilindro con una manguera (que soporte el calor y la presión), acople $\frac{1}{2}$ " y válvula respectivamente y apretar con abrazaderas para evitar fugas. Introducir las pilas en el calefón.

- k.** Conectar la bomba al KIT, utilizando bushings o reductores debido al cambio de diámetro entre las dos.

Figura 96. KIT SOLAR + bomba de recirculacion.



Fuente: Autores

- l.** Conectar el KIT al calefón con tuberías flexibles que soporten agua caliente (40-70°C) y altas presiones, los acoples para unir dichos elementos son de ½ plg en el calefón y ¾ plg en el KIT.

Figura 97. KIT SOLAR + calefón.



Fuente: Autores

- m.** Conectar el KIT a la salida de agua fría de la red con manguera flexible y acoples de ¾ y ½ plg respectivamente. Además de conectar con la salida de ACS a 45°C con las respectivas reducciones y una válvula check para evitar el retorno del agua caliente al KIT.

Figura 98. KIT SOLAR + agua de red y ACS.



Fuente: Autores

En las conexiones del KIT SOLAR deben ser utilizados anillos de goma. Todas las conexiones del conjunto son del tipo M 3/4”.

- n. La bomba de recirculación se accionará siempre que se consuma ACS, esto gracias a la instalación de un automático a la salida del KIT SOLAR.

Figura 99. KIT SOLAR + automático.



Fuente: Autores

- o. Instalación del sistema de control eléctrico para la alimentación de agua fría al tanque acumulador:
 - n.1. Colocar el sensor de nivel y temperatura por la parte superior del tanque acumulador, roscándolo en una tee, ya que el otro extremo servirá como válvula

de alivio para que no exista sobre presión dentro del tanque acumulador y el excedente de agua regresara al tanque reservorio.

n.2. Fijar el panel de control a la pared

n.3. Conectar la electroválvula y el sensor al panel de control

n.4. Calibrar el panel de control.

Figura 100. Sistema de control eléctrico a) sensor b) electroválvula
c) panel de control d) desfogue o alivio al tanque reservorio.



Fuente: Autores

- p.** Con el sistema mixto instalado: calefón más colector solar ambos unidos mediante el KIT SOLAR, se debe realizar las pruebas respectivas que permitan verificar el correcto funcionamiento.

Figura 101. Sistema mixto automatizado.



Fuente: Autores

- q.** Abrir las válvulas que permitan el paso de agua al sistema.
- r.** Permitir que el flujo de agua, a través del sistema, llene el tanque acumulador.
- s.** Abrir las válvulas para el ingreso de gas al calefón.
- t.** Conectar el toma corriente de la Bomba.
- u.** Verificar el nivel y la temperatura del agua mediante el panel de control.
- v.** Constatar que la temperatura en el último punto de abastecimiento de agua caliente es los 45 °C que asegura el KIT SOLAR.
- w.** Una vez obtenida la temperatura deseada, verificar el apagado automático del calefón.
- x.** Verificar el encendido y apagado automático de la Bomba cada vez que se abra o cierre una toma de agua.

5.6 Pruebas de funcionamiento

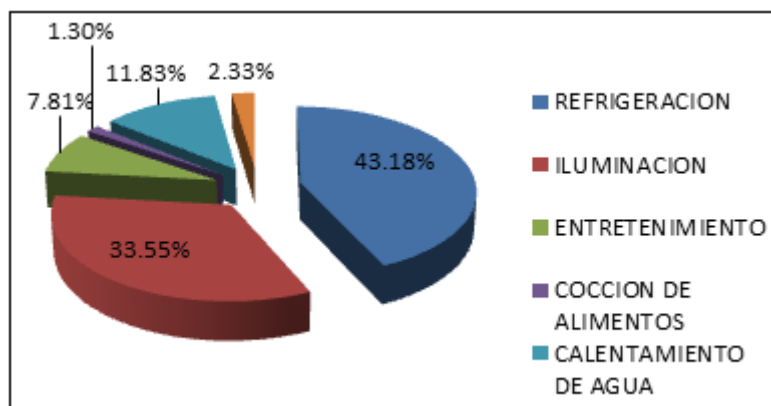
5.6.1 Pruebas Eléctricas. El último censo en el 2010 dice que en el Ecuador hay 4 654 054 de viviendas de las cuales el 60,09% dispone de duchas. La tabla 32 muestra los datos de estadísticas realizadas en la Ciudad de Riobamba por parte de la EERSA y su respectivo análisis y pruebas del sector eléctrico.

Tabla 32. Participación en el consumo residencial en la ciudad de Riobamba.

USO FINAL	PARTICIPACIÓN EN EL CONSUMO RESIDENCIAL EN					
	DÍA LABORABLE		SÁBADO		DOMINGO	
	kWh/DÍA	%	kWh/DÍA	%	kWh/DÍA	%
REFRIGERACIÓN	67512	43,18%	70200	47,08%	66587,5	46,96%
ILUMINACIÓN	52462,03	33,55%	46113,41	30,92%	45062,77	31,78%
ENTRETENIMIENTO	12216,52	7,81%	20223,52	13,56%	10592,73	7,47%
COCCIÓN DE ALIMENTOS	2028,47	1,30%	888,5	0,60%	2303,476	1,62%
CALENTAMIENTO DE AGUA	18502,03	11,83%	7845,96	5,26%	8782,594	6,19%
OTROS	3646,55	2,33%	3842,42	2,58%	8452,901	5,96%
TOTAL	156367,6	100,00%	149113,8	100,00%	141782	100,00%

Fuente: EERSA

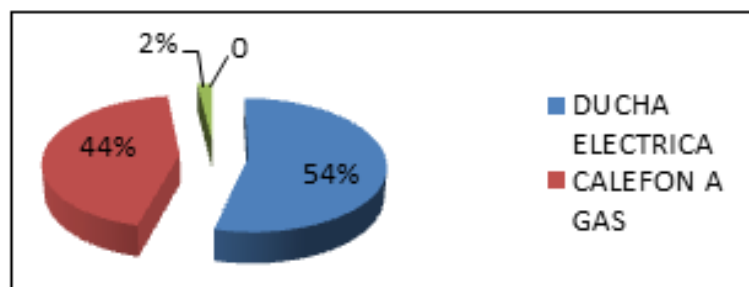
Figura 102. Usos finales de la energía en la ciudad de Riobamba.



Fuente: EERSA

En la siguiente tabla se presenta datos realizados por la empresa eléctrica Riobamba en función de los equipos utilizados para calentamiento de agua de uso residencial en la ciudad de Riobamba.

Figura 103. Valores de uso de artefactos para ACS.



Fuente: EERSA

A continuación se presentan datos de las pruebas a duchas eléctricas realizadas en la presente investigación tomando como referencia como base la potencia de equipos utilizados en la ciudad de Riobamba y el consumo promedio de una persona.

Datos base:

- Análisis para una familia de 4 personas
- Tiempo promedio de uso por persona de la ducha 15min
- Potencia promedio de duchas 4 000 w

Tabla 33. Consumo mensual de duchas para el calentamiento de agua en uso residencial.

ENERGIA ELECTRICA																														
EQUIPO	WATT	KW	HORAS DE UTILIZACION																								TOTAL DE HORAS DE USO AL DIA	DIAS DE USO AL MES	TOTAL KWh/mes	CONSTO MENSUAL
			A.M.												P.M.															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
1 ducha Electrica	4000	4																								1	30	120	11,376	

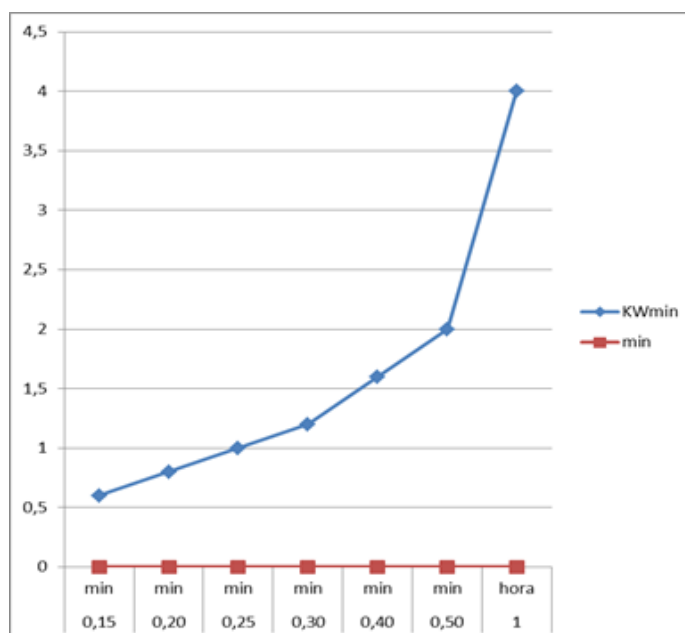
Fuente: Autores

Tabla 34. Potencia vs tiempo en duchas.

TABLA DE CONSUMO				
min		KW	Kwmin	
0,15	min	4	0,6	Kwmin
0,20	min	4	0,8	Kwmin
0,25	min	4	1	Kwmin
0,30	min	4	1,2	Kwmin
0,40	min	4	1,6	Kwmin
0,50	min	4	2	Kwmin
1	hora	4	4	KWh

Fuente: Autores

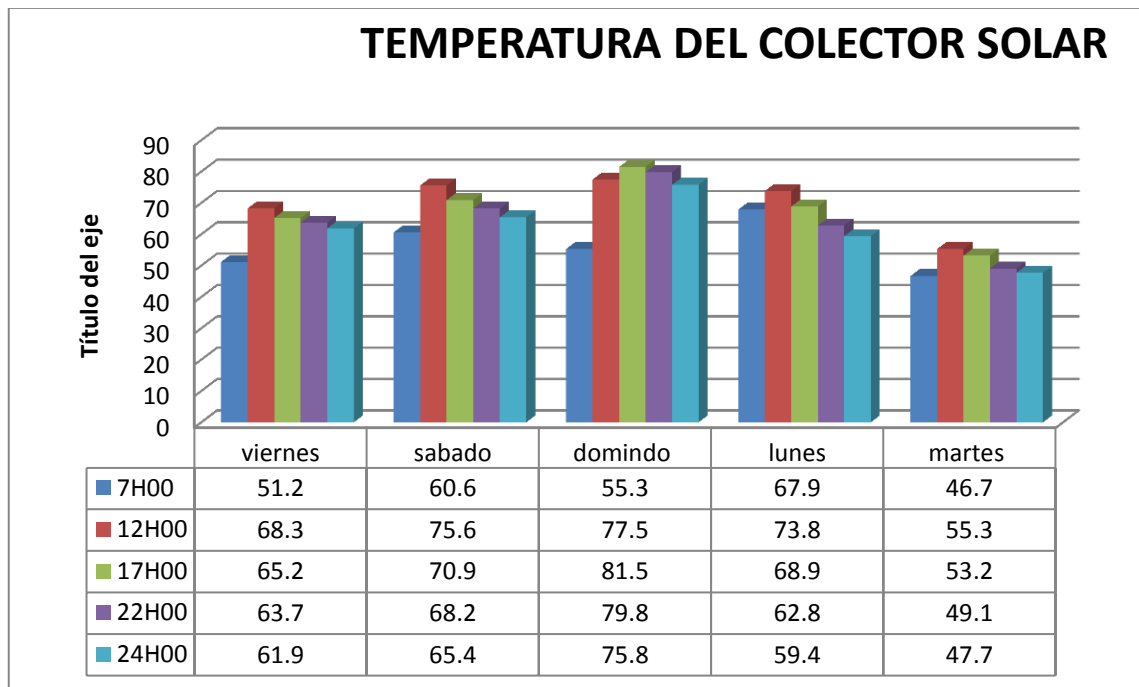
Figura 104. Potencia vs tiempo en duchas.



Fuente: Autores

5.6.2 Pruebas del colector solar. Las siguientes pruebas fueron realizadas durante 5 días donde se tomaron datos de temperatura del agua en el termotanque acumulador del colector en condiciones de funcionamiento normal para una familia de 4 personas obteniendo los datos de la siguiente figura:

Figura 105. Temperatura del agua en el termotanque acumulador del colector solar.



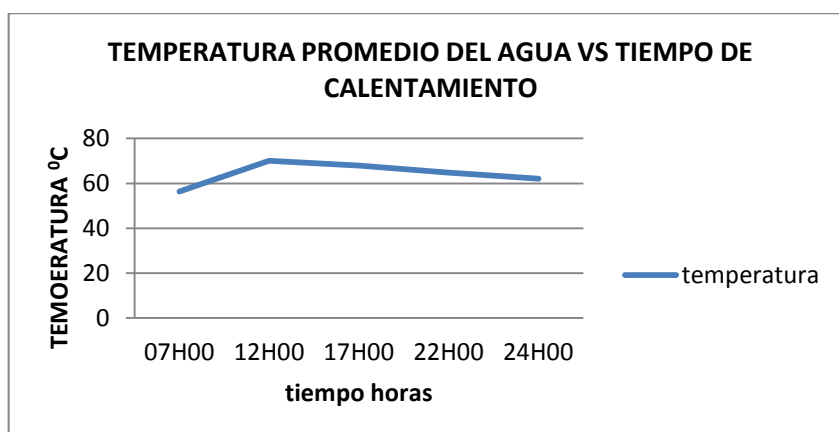
Fuente: Autores

Tabla 35. Datos de temperatura del agua en el acumulador.

HORAS	VIERNES	SÁBADO	DOMINGO	LUNES	MARTES	PROMEDIO
07H00	51,2	60,6	55,3	67,9	46,7	56,34
12H00	68,3	75,6	77,5	73,8	55,3	70,1
17H00	65,2	70,9	81,5	68,9	53,2	67,94
22H00	63,7	68,2	79,8	62,8	49,1	64,72
21H00	61,9	65,4	75,8	59,4	47,7	62,04

Fuente: Autores

Figura 106. Comportamiento de la gradiente de temperatura del agua en el colector solar.



Fuente: Autores

5.6.3 Pruebas del calefón. Se realizaron pruebas en 5 diferentes sectores de la ciudad de Riobamba para 5 familia diferentes compuesta de 4 personas en el que empleaban calefones de uso residencial para el calentamiento de agua indistintamente de la marca de los equipos se obtuvo un promedio que se presenta en la siguiente tabla.

Aproximadamente el consumo de gas para 4 personas en para un sector socioeconómico de clase media es de 1,4 cilindros de gas.

Tabla 36. Consumo de cilindros vs. calor absorbido.

	Calor Absorbido en el proceso de conseguir ACS			
	Datos	Día/cilindro	Mensual	Anual
# Cilindro GLP (15 Kg)	1	0,0467	1,4	16,8
MJ	586,7237687	27,4	821,4132762	9856,959315
BTU	556,136,19	25971,56	778590,6638	9343087,966

Fuente: Autores

5.6.4 Pruebas del sistema auxiliar automatizado. Para las pruebas del sistema se analizan los periodos de frecuencia del Kit auxiliar ya que este activa el calefón. En este sentido el campo de estudio es variable debido a las condiciones de entorno y en las que se encuentra varios factores como la variación de utilización del sistema, el tiempo de funcionamiento del sistema, el clima como un factor importante a considerar entre otros es por eso que hemos procedido a la toma de datos y análisis bajo condiciones de máximo funcionamiento para determinar resultados en condiciones críticas.

5.6.4.1 Prueba 1. En esta prueba se toma datos de la frecuencia de tiempo en el que el kit solar abre la compuerta para el encendido del calefón cuando la temperatura del tanque del colector solar es mayor de 45°C y debido a tiempos de parada del sistema en el que se producen una gradiente de temperatura del agua y provocando que se active el calefón por un tiempo hasta equilibrar el sistemas. Para ello se evalúa en un día frío-lluvioso donde las condiciones de funcionamiento se ponen a prueba.

Figura 107. Pruebas de Funcionamiento caso 1.



Fuente: Bosch

La siguiente tabla muestra los indicadores de tiempo en que el kit solar activa el calefón estos datos fueron tomados en 5 días en condiciones de funcionamiento normal del sistema propuesto.

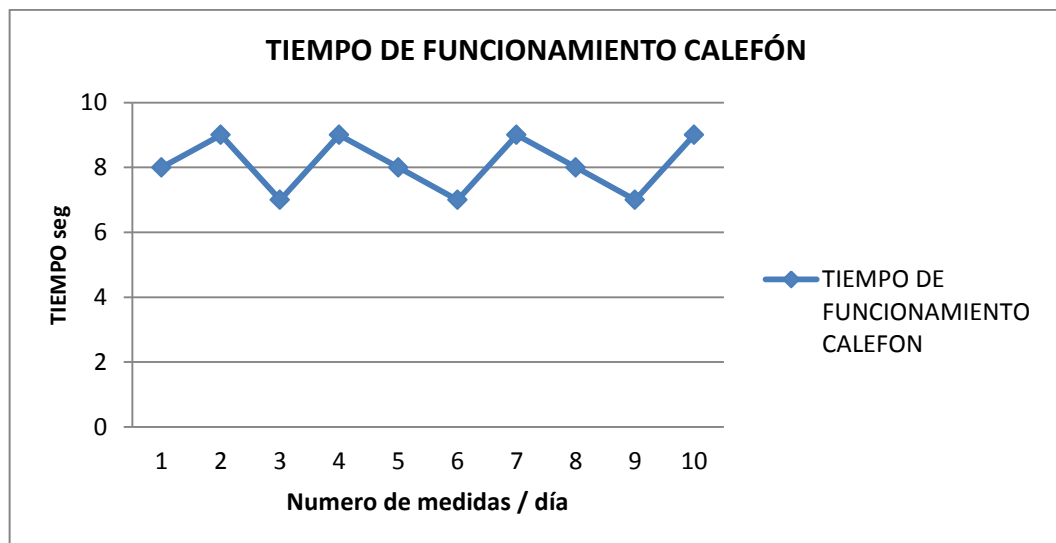
Tabla 37. Tiempo de encendido del calefón en condiciones normales de funcionamiento.

TIEMPO DE FUNCIONAMIENTO DEL CALEFON EN EL SISTEMA en seg	NUMERO DE MEDIDAS	DIAS
8	1	UN DÍA
9	2	
7	3	
9	4	
8	5	
7	6	
9	7	
8	8	
7	9	
9	10	
8,1	PROMEDIO	

Fuente: Autores

De acuerdo a la toma de datos de la tabla anterior el promedio de encendido del calefón bajo estas condiciones es de 8,1 seg.

Figura 108. Comportamiento de encendido del calefón vs tiempo.



Fuente: Autores

Tabla 38. Comportamiento del kit solar.

TIEMPO DE PRUEBA	To	Tf (TEMPERATURA DEL TANQUE COLECTOR)/8,1 seg		
06H00	<45	Tf1	ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
07H00		disminuye de 1 a 7 grados/hora		
08H00	<45	Tf2	ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
09H00		disminuye de 1 a 4 grados/hora		
10H00	<45		ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
11H00	sistema funciona solo con energía solar			
12H00				
13H00				
14H00				
15H00				
16H00				
17H00				
18H00	<45	Tf3	ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
19H00		disminuye de 1 a 4 grados/hora		
20H00	<45	Tf4	ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
21H00		disminuye de 1 a 7 grados/hora		
22H00	<45		ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	

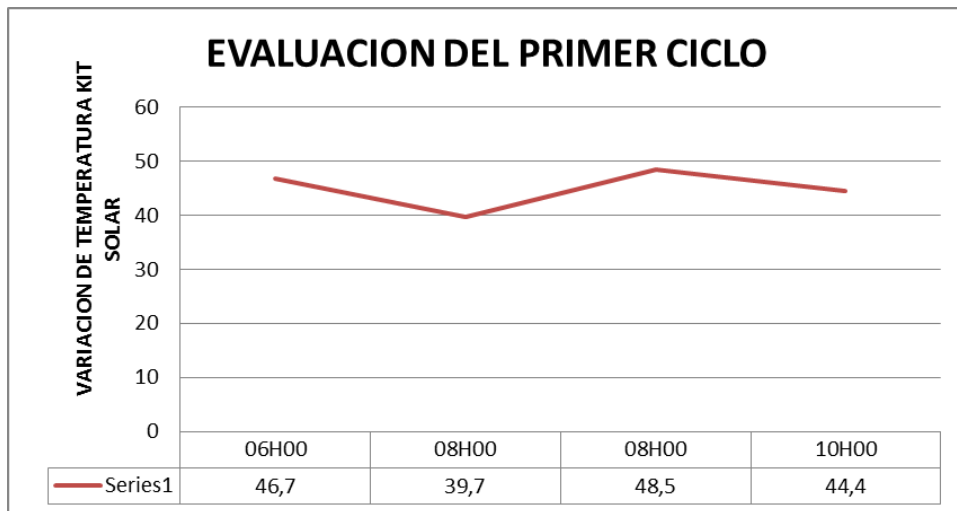
Fuente: Autores

Tabla 39. Evaluación del kit solar bajo condiciones de funcionamiento críticas.

TIEMPO DE PRUEBA	To	Tf (TEMPERATURA DEL TANQUE COLECTOR)/8,1 seg		
06H00	<45	Tf1	ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
07H00		disminuye de 1 a 7 grados/hora		
08H00	<45	Tf2	ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
09H00		disminuye de 1 a 4 grados/hora		
10H00	<45		ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
11H00	sistema funciona solo con energía solar			
12H00				
13H00				
14H00				
15H00				
16H00				
17H00				
18H00	<45	Tf3	ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
19H00		disminuye de 1 a 4 grados/hora		
20H00	<45	Tf4	ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	
21H00		disminuye de 1 a 7 grados/hora		
22H00	<45		ACTIVA CALEFÓN 8,1 seg	

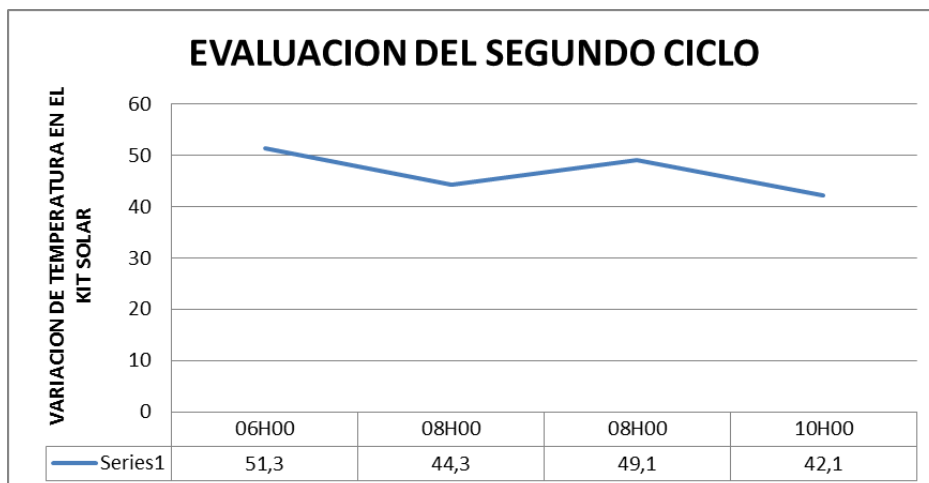
Fuente: Autores

Figura 109. Evaluacion del kit solar primer ciclo.



Fuente: Autores

Figura 110. Evaluacion del segundo ciclo de trabajo.



Fuente: Autores

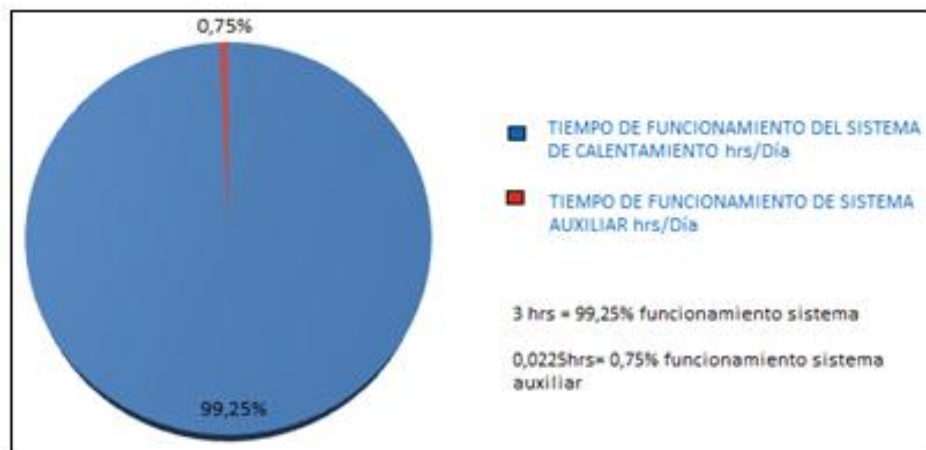
Resultados Prueba 1

Tabla 40. Parámetros de evaluación del sistema solar propuesto.

ACTIVIDAD	TIEMPO DE UTILIZACIÓN DEL SISTEMA	PROMEDIO DE ACTIVACIÓN DEL SISTEMA AUXILIAR
Ducha para 4 personas a 15min promedio	1 hora	81seg
preparación de alimentos y limpieza de Vajilla	1 hora	
otros	1 hora	
total de horas vs funcionamiento sistema	3 horas	

Fuente: Autor

Figura 111. Aporte del sistema auxiliar vs el aporte sistema principal.

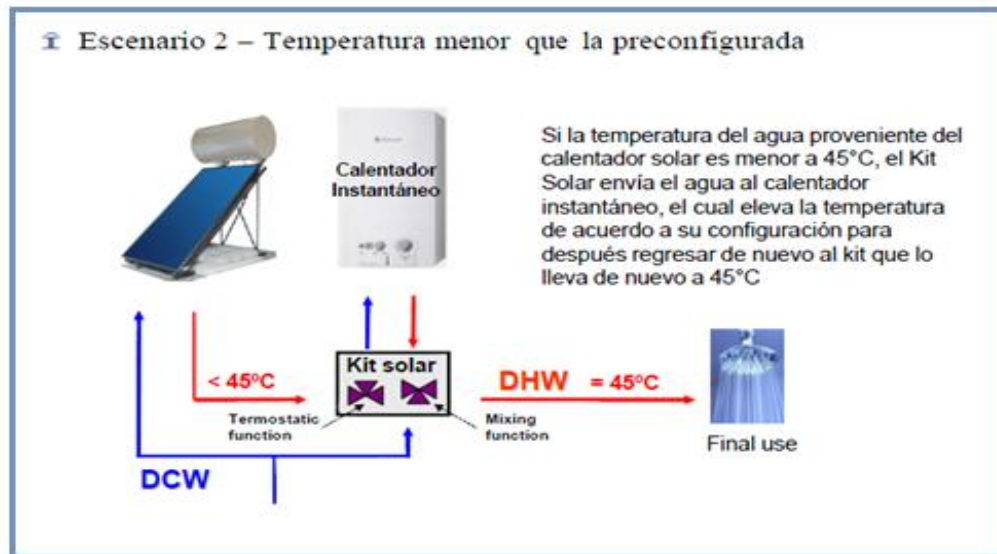


Fuente: Autor

5.6.4.2 Prueba 2. En este apartado se analiza el segundo escenario el cual permitirá determinar el porcentaje de aporte del sistema auxiliar cuando el sistema principal en este caso el colector solar no cumpla con los requerimientos de funcionamiento del kit solar debido a condiciones de entorno u operación. Se analizaron dos escenarios que se detalla a continuación.

- Temperatura mínima
- Demanda de operación

Figura 112. Estudio de funcionamiento caso 2



Fuente: Bosch

De acuerdo a los datos del INAMI y datos reportados por la estación meteorológica: 841760 (SERB) en la ciudad de Riobamba se reporta.

Información de situación Geográfica de **Riobamba aeropuerto** y datos de interés. (Anexo 4).

- **País:** Ecuador
- **Estación meteorológica:** 841760
- **Latitud:** -01° 65
- **Longitud:** -078° 66
- **Altura:** +2796
- **Información de Metar:** SERB

Tabla 41. Datos meteorológicos de la ciudad de Riobamba

Datos Extend.	T	TM	Tm	VV	VR	PNM	PT	LL	G	T	N	NB
1	16.0	21.9	7.9	16.67	-	-	5.0	0	0	0	0	1
2	16.4	21.7	8.3	14.82	-	-	0	0	0	0	0	0
4	17.0	23.5	9.7	21.3	-	-	2.0	0	0	0	0	1
10	17.8	24.9	8.8	17.04	-	-	0	0	0	0	0	0
11	18.8	23.7	8.7	8.33	-	-	3.0	0	0	0	0	0
13	17.7	24.4	9.6	13.7	-	-	-	1	0	0	0	1
16	18.9	24.9	11.2	11.11	-	-	0	0	0	0	0	0
18	15.4	21.4	9.9	5.56	-	-	0	0	0	0	0	0
19	14.9	19.2	10.2	10.19	-	-	0	0	0	1	0	1
20	15.0	24.4	8.6	5.19	-	-	0	0	0	1	0	1
21	17.2	23.9	10.9	11.11	-	-	0.5	1	0	0	0	1
25	15.7	19.9	10.1	11.11	-	-	3.0	0	0	0	0	0
27	16.2	21.4	7.6	14.45	-	-	0	0	0	0	0	1
28	15.8	21.3	5.4	21.3	-	-	0	0	0	0	0	0
29	15.6	21.3	8.3	6.11	-	-	0	0	0	0	0	0
30	17.1	22.2	10.4	10.56	-	-	0	0	0	0	0	0
31	14.2	20.4	10.2	16.67	-	-	0.5	0	0	0	0	1

Fuente:SERB

Resumen de datos mensuales para Octubre del 2012:

- Temperatura Máxima mensual: 24,9 °C
- Temperatura Mínima mensual: 5,4 °C
- Temperatura Media mensual: 16,5 °C
- Precipitación Total mensual: 14,2 mm.
- Media de Velocidad del Viento mensual: 12,66 km/h
- Ráfagas Máximas de viento mensual: 0 km/h

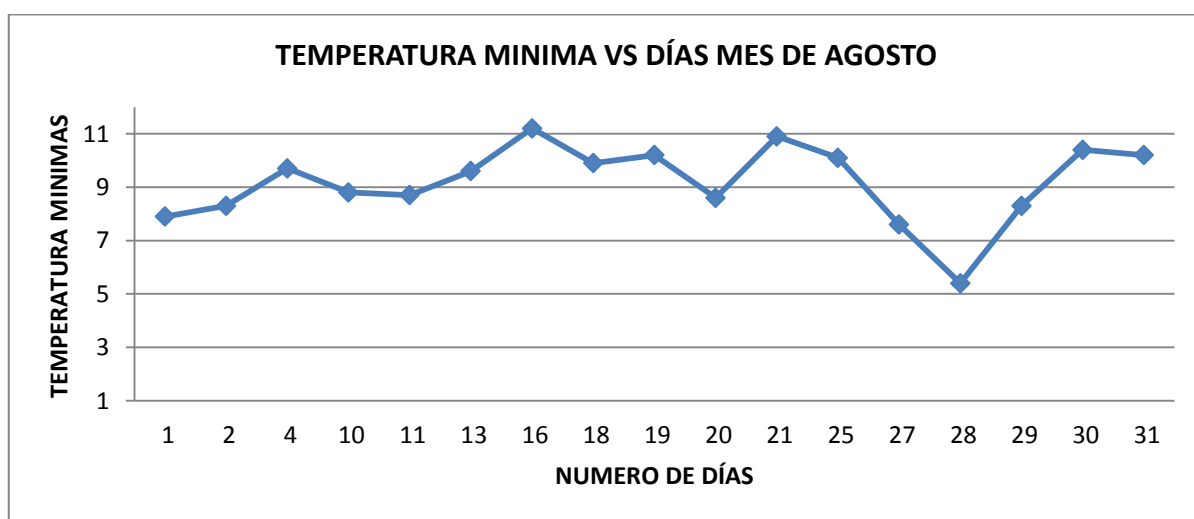
Tabla 42. Significados de las columnas de los datos

Significado de las columnas de datos:			
T	Temperatura media (°C)	G	Índica si Granizó (0: No; 1:Si)
TM	Temperatura máxima (°C)	T	Indica si hubo tormenta (0: No; 1:Si)
Tm	Temperatura mínima (°C)	N	índica si nevó (0: No; 1:Si)
VV	Velocidad media del viento (km/h)	NB	Indica si hubo niebla (0: No; 1:Si)
VR	Velocidad de ráfagas máximas de viento (km/h)		
PNM	Presión atmosférica a nivel del mar (mb)		
PT	Precipitación total de lluvia y/o nieve derretida (mm)		
LL	índica si hubo lluvia o llovizna (0: No; 1:Si)		

Fuente:SERB

A continuación se presenta la temperatura absolutas mínimas en la ciudad de Riobamba del mes de agosto del 2012 en el cual se instaló el sistema y se comprobó su funcionamiento bajo parámetros expuestos anteriormente.

Figura 113. Temperatura mínimas vs. días



Fuente:Autores

De acuerdo a estos datos y a pruebas realizadas el sistema auxiliar entra en funcionamiento cuando la demanda de agua caliente es alta y la temperatura del entorno es menos de 9 grados centígrados dándose lugar en las noches y madrugadas respectivamente y en este caso se provoca un gradiente de temperatura activando el sistema auxiliar, por lo que en este estudio se obtuvo los siguientes datos.

Tabla 43. Comparación de días Vs. temperatura ambiente.

días	TEMPERATURA MÍNIMA CIUDAD DE RIOBAMBA
8	< 9 °C
23	> 9 °C

Fuente: estación meteorológica de Espoch

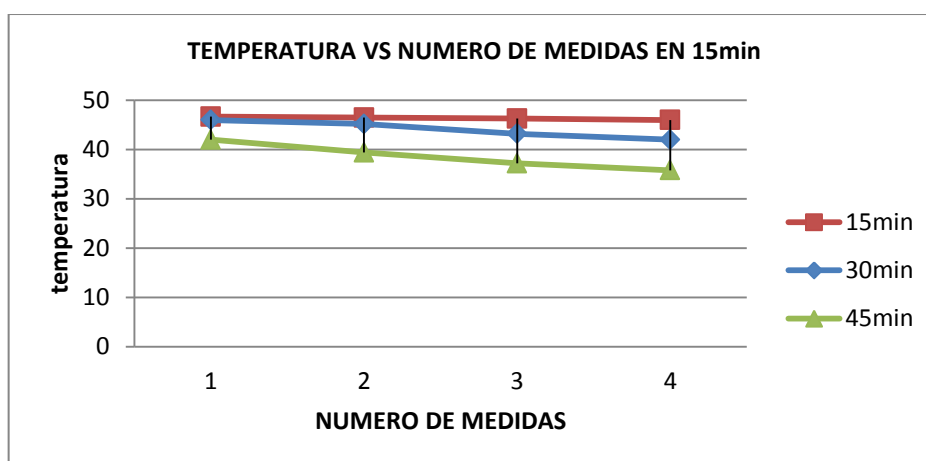
La siguiente tabla muestra los datos de las pruebas de demanda vs temperatura para 2 salidas de consumo de agua en el que se analiza la gradiente de temperatura del agua cuando la demanda es creciente y continua.

Tabla 44. Análisis de temperatura del agua vs demanda de consumo.

ANÁLISIS DE TEMPERATURA DEL AGUA VS SALIDA DE AGUA PARA CONSUMO			
Salidas de agua para consumo	temperatura	tiempo de funcionamiento del sistema	disminución de temperatura °C
primer ciclo			
2	46,7	15min	-0,7
	46,5		
	46,3		
	46		
segundo ciclo			
2	46	30min	-4
	45,2		
	43,2		
	42		
tercer ciclo			
2	42	45min	-6,2
	39,4		
	37,2		
	35,8		

Fuente: Autores

Figura 114. Temperatura vs número de medidas



Fuente:Autores

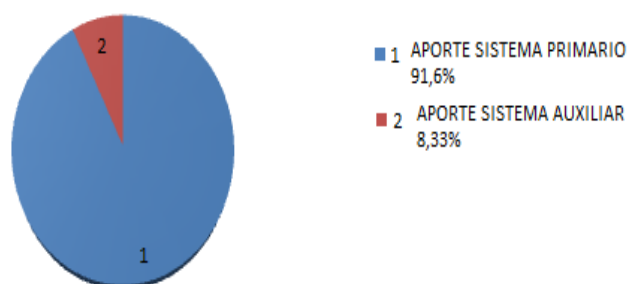
Tabla 45. Datos para determinar el aporte del sistema auxiliar diario

PARÁMETROS	CONDICIÓN
FUNCIONAMIENTO SISTEMA GENERAL	3hrs/día
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA PRIMARIO	2,85 hrs/día
FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA AUXILIAR	15min/día
CONDICIÓN DE TRABAJO DEL SISTEMA AUXILIAR	día frío - Lluvioso

Fuente:Autores

En la siguiente figura se establece el aporte del sistema auxiliar y el aporte del sistema primario bajo condiciones de máxima demanda promedio y condiciones ambientales críticas permitiendo un indicador confiable del funcionamiento del sistema propuesto.

Figura 115. Aporte del sistema auxiliar vs. aporte sistema primario



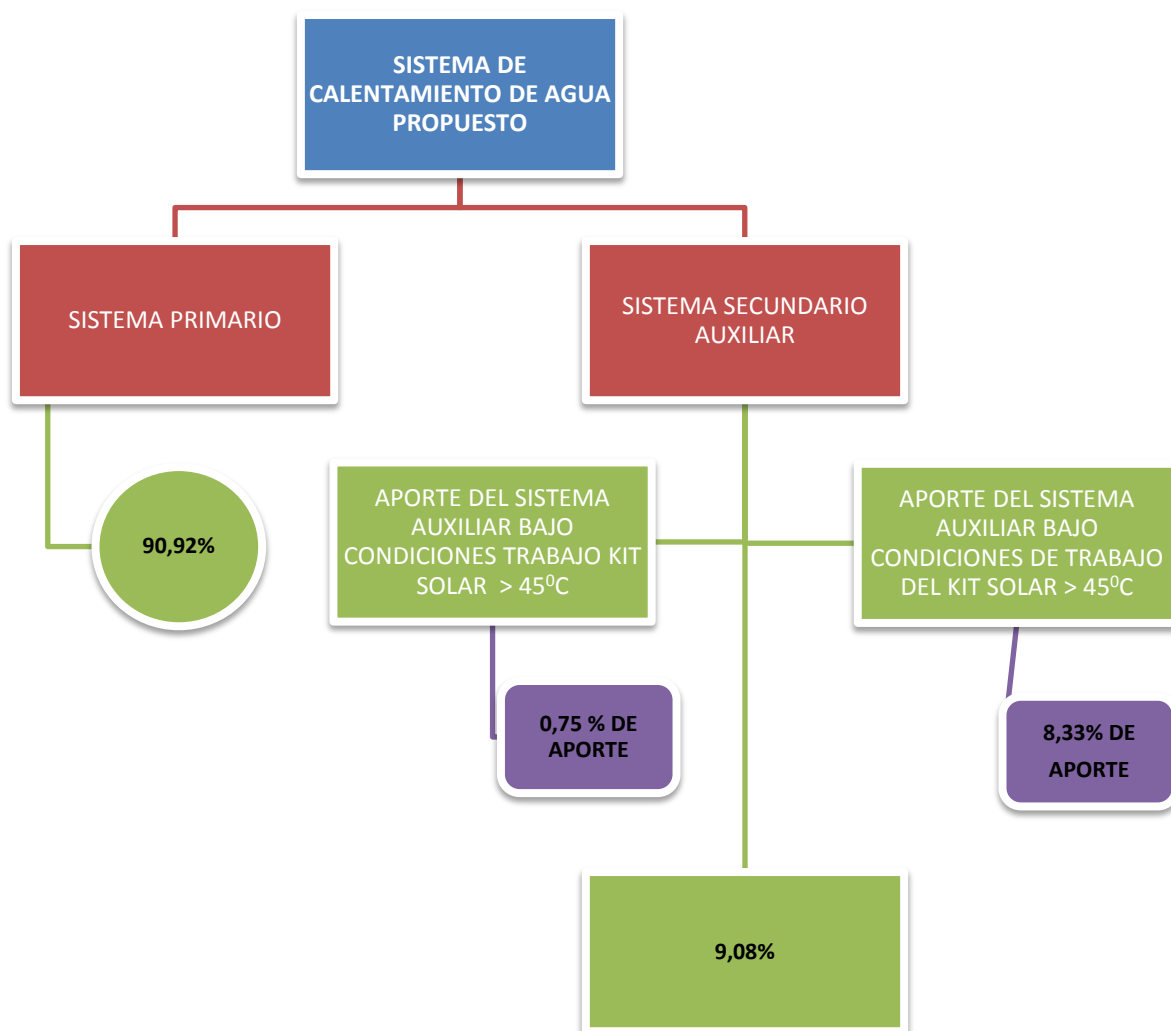
Fuente:Autores

Tabla 46. Aporte mensual

DÍAS DE TRABAJO DEL SISTEMA	31 DÍAS MES DE AGOSTO
HORAS - MES DE APOORTE DEL SISTEMA PRIMARIO	93 hrs.
HORAS - MES DE TRABAJO DEL SISTEMA AUXILIAR	7,75hrs

Fuente:Autores

Figura 116. Resultados finales del sistema de calentamiento global



Fuente:Autores

Tabla 47. Resultados totales de pruebas del sistema propuesto

RESULTADOS DE SISTEMA PROPUESTO VS SISTEMA ELÉCTRICO				
EQUIPO	CONSUMO	ENERGÍA CONSUMIDA EN UN DÍA	ENERGÍA AHORRADA EN UN DÍA	ENERGÍA AHORRADA EN UN MES
DUCHA ELÉCTRICA	4000w	4 kw-h		
SISTEMA PROPUESTO			4kw-h	120kw-h
RESULTADOS DE SISTEMA PROPUESTO VS SISTEMA CALEFÓN				
EQUIPO	CONSUMO	ENERGÍA CONSUMIDA EN UN DÍA	ENERGÍA AHORRADA EN UN DÍA	ENERGÍA AHORRADA EN UN MES
calefón	1,4 cilindros/mes	0,0467 Día/cilindro		
SISTEMA PROPUESTO			0,04245 Día/cilindro	1,273cilindros al mes de ahorro

Fuente:Autores

5.7 Emisiones de CO₂ a la Atmósfera por el sistema auxiliar

La cantidad de CO₂ emitido a la atmósfera por el uso de GLP, del sistema se calcula de la siguiente manera:

El calefón consume diariamente tan solo 0,00423 cilindros o 0,0635 kgdiarios. A razón de los 1,4 cilindros mensuales de antes.

Dato: 1kg GLP emite 2,7 kg CO₂ [22]

Entonces:

$$masa_{CO_2} = Consumo_{GLP} Emisiones_{CO_2} \quad (29)$$

$$masa_{CO_2} = \left(0,0635 \frac{kg_{GLP}}{día}\right) \left(\frac{2,7 kg_{CO_2}}{1 kg_{GLP}}\right) = 0,17 \frac{kg}{día}$$

CAPÍTULO VI

6. ESTUDIO DE COSTOS Y RENTABILIDAD

6.1 Generalidades

Un proyecto de ingeniería surge para satisfacer una necesidad. En este sentido el proyecto descrito en este documento cumple con lo dicho en tres apartados fundamentales:

- Lograr una autosuficiencia de los usuarios y evitar únicamente el consumo de energías convencionales.
- Contribuir de manera notable a frenar los efectos derivados de la emisión de gases de efecto invernadero.
- Alcanzar un beneficio económico mediante el aprovechamiento de energía solar que llega directa y gratuitamente al planeta.

Este último aspecto es uno de los más importantes, y en el que piensa el usuario a la hora de plantear la instalación de paneles solares en su vivienda.

El principal inconveniente al que se enfrenta el consumidor a la hora de ejecutar un proyecto de éste tipo es el alto costo de la inversión inicial. Es así que como penúltimo paso del proyecto se realiza una valoración económica de la instalación, así como de la rentabilidad del mismo, ya que cada vez estas instalaciones son más fiables y solamente requieren de un mantenimiento rutinario, llegando a funcionar satisfactoriamente por un período mínimo de 20 años.

La rentabilidad económica de estas instalaciones se encuentra ligada a la energía solar disponible y al rendimiento del equipo, en otras palabras mientras más eficiente sea la instalación mayor será la demanda de ACS satisfecha con energía limpia generando un mayor ahorro, y por lo tanto un periodo de amortización menor.

En este caso y por la variabilidad de clima, se opta por un sistema auxiliar de generación para la producción de ACS, y se escoge como alternativa un calentador a gas.

Para este estudio, no se tendrá en cuenta los costes de la instalación doméstica.

6.2 Costo permanente

6.2.1 Mantenimiento. El mantenimiento del sistema térmico solar implica gastos derivados de los siguientes factores.

a) Repuestos para mantenimiento preventivo.

b) Costos indirectos de mantenimiento, como mano de obra del personal técnico para emergencias.

6.2.2 Energía eléctrica total utilizada. La energía eléctrica utilizada por el sistema es mínima pues consiste en la potencia necesaria para accionar una bomba de recirculación y funcionamiento del sistema de control eléctrico, el primero para aumentar la presión del agua de llegada al KIT SOLAR y el segundo empleado en el control de acumulación de agua en el tanque colector, entonces la potencia de la bomba es 0,096 kw, y del sistema eléctrico de control 0,005 kw. Según las pruebas de funcionamiento el sistema trabaja simultáneamente con la bomba un promedio de 3 horas y el panel 24 horas diarias entonces:

$$\text{Consumo tot}_{\text{año}} = \text{consumo}_{\text{bomba}} + \text{consumo}_{\text{panel}} \quad (30)$$

$$\text{Consumo tot}_{\text{año}} = 0,096(\text{kw}) 365(\text{dias}) 3 \left(\frac{h}{\text{dia}} \right) + 0,005(\text{kw}) 365(\text{dias}) 24 \left(\frac{h}{\text{dia}} \right)$$

$$\text{Consumo total}_{\text{año}} = 148,92 (\text{kw} - h)$$

El costo de la energía consumida por la bomba y el panel sera:

$$\text{Costo}_{\text{año}} = \text{Consumo total}_{\text{año}} \$_{\text{kw-h}} \quad (31)$$

$$\text{Costo}_{\text{año}} = 148,92(\text{kw} - h) 0,0948 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{Kw} - h} \right)$$

$$\text{Costo}_{\text{año}} = 14,12 \text{ US\$}$$

6.3 Costos directos

Son aquellos costos que se identifican con productos específicos, o identificados con entidades particulares. Estos son gastos generales fijos, de valor constante.

En cuanto a la ejecución del proyecto, son todos los costos que están asociados con la implementación del sistema auxiliar automatizado correspondiente a: equipos y materiales, mano de obra, transporte, herramientas, todos estos comprometidos directamente con su ejecución.

Para la instalación del sistema únicamente los dos escritores de este trabajo son los encargados de realizarlo.

El costo por herramientas se calcula como un porcentaje del costo de la mano de obra generalmente es el 5 A 10%.

Los costos directos para la instalación del sistema se detallan a continuación:

Tabla 48. Costos equipos y materiales.

DESCRIPCIÓN	UNID AD	CANTID AD	COSTO UNID.	COSTO TOTAL
Colector solar. EUSOLAR. 200 lt cap. + estructura	u	1	526,40	526,40
Calefón. Olim. 10 lt de capacidad	u	1	105,00	105,00
KIT SOLAR. BOSCH	u	1	240,00	240,00
Sistema eléctrico de control	u	1	40,00	40,00
Mini chimenea	u	1	12,00	12,00
Bomba de recirculación. WILO	u	1	180,00	180,00
Tanque de gas domestico	u	1	35,00	35,00
Automático	u	1	10,00	10,00
Pila A	u	2	1,00	2,00
Válvula de gas	u	1	4,00	4,00
Válvula Check	u	2	7,50	15,00
Válvula de bola	u	3	6,00	18,00

Lave de paso	u	1	9,00	9,00
Alambre Gemelo # 20	m	10	0,35	3,50
Tubería para gas	m	5	0,30	1,50
Tubería flexible para agua caliente con acoples de 3/4	u	1	12,00	12,00
Tubería flexible para agua fría	m	1	0,80	0,80
Tubería. HIDRO 3. 1/2 plg	u	3	6,85	20,55
Codo 1/2". 90°	u	9	0,45	4,05
Codo 1/2". 45°	u	5	0,55	2,75
Tee 1/2"	u	3	0,60	1,80
Tee 3/4"	u	2	1,50	3,00
Universal 1/2"	u	3	0,80	2,40
Universal 3/4"	u	1	1,80	1,80
Neplo corrido 1/2"	u	6	0,30	1,80
Neplo corrido 3/4"	u	3	0,80	2,40
Unión 1/2"		3	0,35	1,05
Bushing 3/4 a 1/2"		1	0,90	0,90
Bushing 3/4 a 1"	u	1	0,90	0,90
Tapón macho 1/2"		1	0,30	0,30
Acople hembra para calefón 1/2". Agua		2	0,60	1,20
Acople hembra para calefón 1/2". Gas		1	3,50	3,50
Acople hembra de 3/4". para manguera		1	0,50	0,50
Acople macho de 1/2". para manguera		1	0,50	0,50
Abrazaderas	u	5	0,20	1,00
Canaleta	u	2	1,25	2,50
Sellador	u	1	1,45	1,45
Teflón	u	5	0,30	1,50
Taype	u	1	0,60	0,60
SUB TOTAL A	\$ 1270,65			

Fuente:Autores

Tabla 49. Costos mano de obra.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORNADA HOMBRE	- JORNADAS	COSTO TOTAL
Egresado Ing. Mecánica	2	10,00	3	60,00
SUB TOTAL B				\$ 60,00

Fuente:Autores

Tabla 50. Costos transporte.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD fletes	- PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL
Camioneta	u	10	3,00	30,00
SUB TOTAL C				\$ 30,00

Fuente:Autores

Tabla 51. Costos herramientas.

	MANO DE OBRA	HERRAMIENTAS	
	60,00	10%	
SUB TOTAL D			\$ 6,00

Fuente:Autores

Tabla 52. Total costos directos.

SUB TOTAL A	1270,65
SUB TOTAL B	60,00
SUB TOTAL C	30,00
SUB TOTAL D	6,00
TOTAL	\$ 1366,65

Fuente:Autores

6.4 Costos indirectos

Son aquellos que no intervienen directamente en el desarrollo del proyecto. Por ejemplo: los salarios de dirección técnica, gastos administrativos, electricidad, agua, internet, interés de préstamo, materiales de limpieza, etc.

A continuación se muestra una pequeña tabla detallando estos:

Tabla 53. Total costos indirectos.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT.	COSTO TOTAL
Documentación y planos	u	1	5,00	5,00
Electricidad, agua, tfo., internet	u	1	10,00	10,00
Materiales para limpieza	u	5	1,00	5,00
Imprevistos	u	1	40,64	40,64
SUB TOTAL C	\$ 60,64			

Imprevistos.- se considera un 3% del costo directo total.

Fuente:Autores

6.5 Costos totales del proyecto

Son aquellos que incurren durante la operación de instalación y puesta en marcha del sistema, y se cuantifica sumando los costos directos e indirectos como se muestra a continuación.

En este caso al ser un proyecto para pruebas no se tendrá utilidades, pero en el caso de existir sería el 8% de los costos totales.

Tabla 54. Costos totales

Costos directos.	1366,65
Costos indirectos.	60,64
COSTO TOTAL (\$US)	1427,29

Fuente:Autores

6.6 Periodo de amortización

Este periodo es el tiempo que se tarda en recuperar el gasto realizado. Para lo cual se debe conocer el ahorro anual que supone la utilización de energía solar. Los datos necesarios para éste cálculo son los siguientes.

$$Q_u = 4\,490 \left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right) \quad \text{Generado cada hora en el día (Tabla 9)}$$

$$\text{Superficie Absorbente} = 2(\text{m}^2) \quad \text{Captación solar}$$

Entonces la energía solar total captada por el colector en un año será:

$$\text{Energía Solar Util}_{\text{Anual}} = 4\,490 \left(\frac{\text{W-h día}}{\text{m}^2} \right) 2(\text{m}^2) 365 \left(\frac{\text{año}}{\text{días}} \right) \quad (32)$$

$$\text{Energía Solar Util}_{\text{Anual}} = 3\,277\,700 (w - h)$$

Ahora bien, para calcular el VAN se tiene en cuenta un valor de ahorro anual, para lo cual se calcula la cantidad de combustible necesario para producir una energía igual a la que produce el sistema:

Se parte de la fórmula:

$$Q = I m \eta \quad (33)$$

$$m = \frac{Q}{I \eta}$$

Donde:

- Q: Cantidad de energía igual a la producida por el colector solar.
- I: Poder calórico del GLP, $I = 10830 \text{ kcal/kg}$
- m: Masa de combustible necesario para producir una energía igual a la que se produce en el colector.
- η : Rendimiento térmico del intercambiador de calor (= 80 - 85%).

Reemplazando los valores en la ecuación (6.4) se tiene:

$$m = \frac{3\,277\,700 (w - h)}{10\,830 \left(\frac{kcal}{kg}\right) 1,16 \left(\frac{w-h}{kcal}\right) 0,8075} = 323,1 \text{ Kg}$$

El precio actual de un cilindro de gas es 1,65 US\$, por ende cada kilogramo de GLP cuesta 0,11 US\$, el monto del subsidio 0,69 US\$ entonces el precio ponderado por kg es de 0,80 US\$.

El ahorro anual está dividido en dos rubros uno que beneficia al dueño del sistema automatizado y el otro al Estado Ecuatoriano, según se calcula a continuación:

$$\mathbf{Ahorro} = m \frac{\text{US\$}}{\text{kg GLP}} \quad (34)$$

$$Ahorro_{Consumidor} = m \cdot 0,11 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{kg}}\right)$$

$$Ahorro_{Consumidor} = 323,1(\text{Kg}) 0,11 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{kg}}\right) = 35,54 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}}\right)$$

$$Ahorro_{Gobierno} = m \cdot 0,69 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{kg}}\right)$$

$$Ahorro_{Gobierno} = 323,1(\text{kg}) \cdot 0,69 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{kg}}\right) = 222,94 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}}\right)$$

$$\mathbf{Ahorro}_{Total} = 35,54 + 222,94 = 258,48 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}}\right)$$

Al ser un sistema mixto y conociendo que el sistema auxiliar trabaja un 9,08 %, se procede a calcular la diferencia:

$$100 \% \text{ ----- } 258,48 \text{ US\$}$$

$$9,08 \% \text{ ----- } x = ? \quad \quad x = 23,47 \text{ US\$}$$

Entonces el ahorro total al año es de 235,01 US\$.

Cabe destacar que este ahorro es solo por un calefón conectado. Si se multiplica por los 400 000 existentes en el país, el ahorro es:

$$\text{ahorro total al país} = 400\,000(\text{calefones}) \cdot 235,01 \text{ (US\$)}$$

$$\text{ahorro total al país} = 94\,004\,000 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)$$

También se halla el costo mensual real que el usuario pagara por consumo de GLP del sistema auxiliar, así se tiene que consume tan solo 0,127 cilindros al mes, y 1,905 kg/mes.

Actualmente una familia consume 1,4 cilindros mensuales para generar ACS.

Entonces:

$$\text{Consumo} = m \cdot \frac{\text{US\$}}{\text{kg GLP}} \quad (35)$$

$$\text{Consumo}_{\text{usuario}} = m \cdot 0,11 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \right)$$

$$\text{Consumo}_{\text{usuario}} = 1,905 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mes}} \right) \cdot 0,11 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \right) = 0,21 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \right)$$

El Estado pagara:

$$A \text{ Pagar}_{\text{Estado}} = 1,905 \left(\frac{\text{kg}}{\text{mes}} \right) \cdot 0,69 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{kg}} \right) = 1,31 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \right)$$

$$A \text{ Pagar}_{\text{Estado}} = 15,77 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)$$

Estos con un ahorro de:

$$\text{Ahorro}_{\text{usuario}} = 2,31 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \right) = 27,78 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{Ahorro}_{\text{Estado}} = 14,44 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \right) = 173,30 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)$$

$$\mathbf{Ahorro_{Total} = 27,78 + 173,30 = 201,08 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)}$$

El Estado abonara por los 400 000 calefones que estarán funcionando como sistemas auxiliares la cantidad:

$$A\text{ Pagar}_{Estado} = 400\,000(\text{calefones}) \cdot 15,77 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right) = 6\,309\,360 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)$$

El Estado ahorrara por los 400 000 calefones que estarán funcionando como sistemas auxiliares la cantidad:

$$Ahorro_{Estado} = 400\,000(\text{calefones}) \cdot 173,30 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right) = 69\,316\,535,43 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)$$

Ahora se calcula el ahorro si el usuario consume duchas eléctricas para generar ACS y se decide por el nuevo sistema.

Una ducha tiene una potencia de 4 kw, eso por el total de horas consumidas al día se tiene 4 kw-h (4 kw . tiempo de una ducha 15 min . # de personas 4), y el costo del kw-h fluctúa entre 0.0948 US\$/kw, por lo tanto:

$$Total\ consumo = ahorro = 4(kw - h) \cdot 0,0948 \left(\frac{\text{US\$}}{Kw-h} \right) = 0,38 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{dia}} \right) \quad (36)$$

Ahorro mensual = $11,40 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \right)$ + el básico $8,30 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \right) = 19,70 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \right)$, entonces anual será 236,40 US\$ por el consumo de una ducha.

El ahorro para el Estado es:

$$Ahorro_{Estado} = 4(Kw - h) \cdot 0,003 \left(\frac{\text{US\$}}{Kw - h} \right) = 0,012 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{mes}} \right) = 4,38 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)$$

$$\mathbf{Ahorro_{Total} = 236,40 + 4,38 = 240,78 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)}$$

El ahorro total para el Estado por las 1 800 000 duchas utilizadas para generar ACS es:

$$Ahorro_{Estado} = 7\,884\,000 \left(\frac{\text{US\$}}{\text{año}} \right)$$

El siguiente paso es calcular el VAN, este es un método de evaluación de inversiones que proporciona una valoración financiera de los flujos de caja netos proporcionados por la inversión, es decir, la relación entre los ingresos y los gastos de una inversión en función del tiempo. La metodología consiste en descontar al momento actual todos los flujos de caja futuros del proyecto.

$$VAN = -I_0 + \sum_n \frac{B_n}{(1+i)^n} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (37)$$

Siendo:

- I_0 : Inversión inicial.
- F : Flujo de caja o balance de caja es decir el ahorro total.
- i : Tasa de rentabilidad de la inversión, (recomendado $i=2,5\%$).
- n : Número de años previsto para amortizar la instalación.

La regla de decisión es $VAN > 0$ proyecto rentable, $VAN < 0$ no rentable, y cuanto mayor sea el VAN más rentable será el proyecto, y para conocer el número de años necesarios para amortizar la inversión bastaría con igualar el VAN a cero y despejar n . Como no se puede despejar n , el cálculo se realiza de manera iterativa hasta que la expresión utilizada sea cero o positiva.

Realizando el proceso iterativo en las tablas que se presenta a continuación se muestra el ahorro que se establece cada año. Llega un año en el que el VAN es positivo o lo que es más importante, mayor que cero, lo quiere decir que éste es el primer año en el que no se tiene pérdidas y empiezan a recoger beneficios, mientras que todos los años atrás han sido años de amortización

Periodo de amortización si el nuevo usuario consume Calefones:

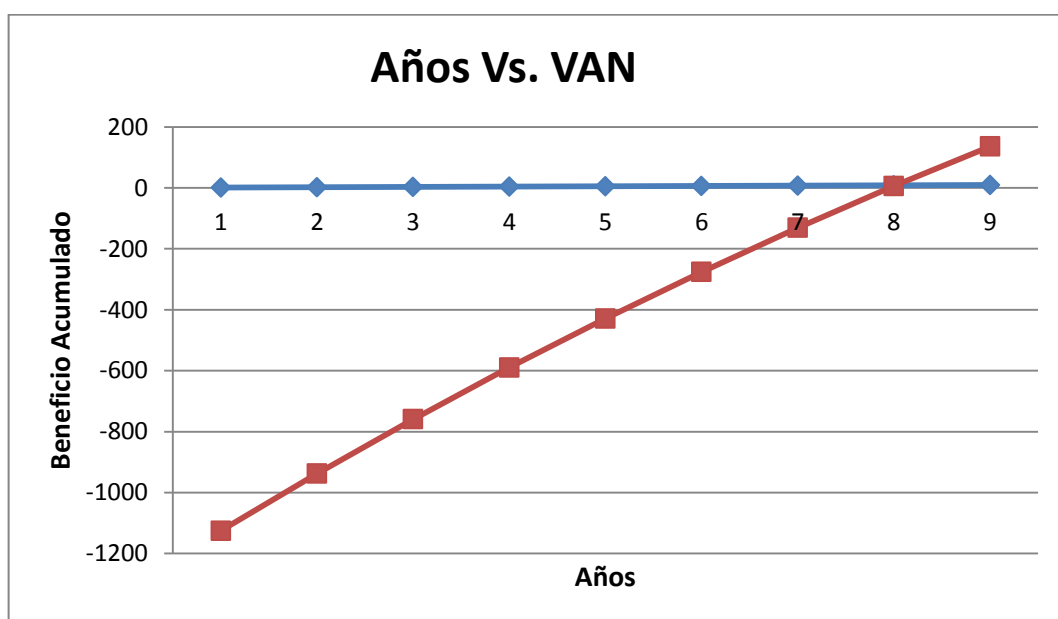
Tabla 55. Beneficio anual acumulado.

Año	Beneficio Acumulado
1	-1126,11
2	-939,51
3	-762,12
4	-593,62
5	-433,66
6	-281,95
7	-138,16
8	-2,27
9	126,80

Fuente: Autores

El periodo de amortización obtenido para el sistema es aproximadamente 8 años, según se observa en la siguiente gráfica:

Figura 117. Evolución del VAN para el sistema a gas.



Fuente: Autores

Periodo de amortización si el nuevo usuario consume ducha eléctrica.

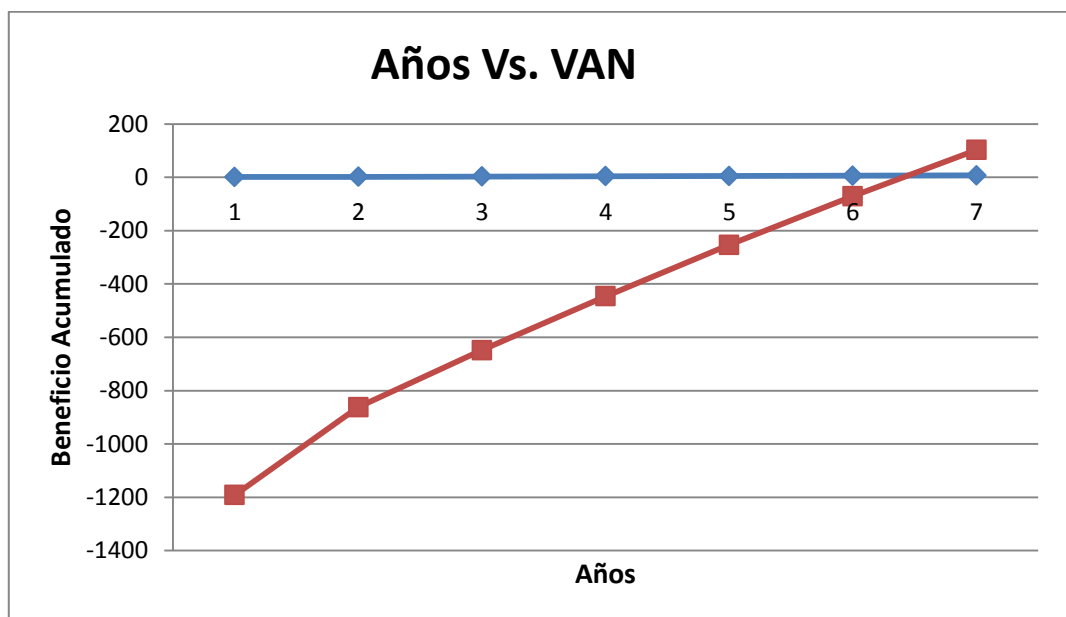
Tabla 56. Beneficio anual acumulado.

Año	Beneficio Acumulado
1	-1192.38
2	-863.93
3	-651.53
4	-449.75
5	-258.22
6	-76.55
7	95.63

Fuente:Autores

El periodo de amortización obtenido para nuestro sistema es aproximadamente 6.5 años, según se observa en la siguiente gráfica:

Figura 118. Evolución del VAN para el sistema eléctrico.



Fuente:Autores

6.7 Rentabilidad del proyecto

La TIR o tasa de rendimiento interno es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para conocer la factibilidad de diferentes opciones de inversión.

A través de este método se calcula la rentabilidad del proyecto que es el valor de la tasa de actualización (i) para el cual se tomara el valor del VAN igual a cero, ya que el valor actual de los ingresos es igual al de los egresos.

$$0 = -I_0 + \sum_n \frac{B_n}{(1+i)^n} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (38)$$

En la cual reemplazando datos e iterando se obtiene un i , que en los dos casos da un TIR de 2,73%.

O bien se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$TIR = \% + \Delta\% \left(\frac{VAN^+}{VAN^+ + VAN^-} \right) \quad (39)$$

El valor actual neto mensual se encuentra entre el 2,5% y 2,75%, que serían VAN^- y VAN^+ respectivamente, con lo cual se tiene:

1). Calefones:

$$TIR = 2,5\% + 0,25\% \left(\frac{126,80}{126,80 + 2,27} \right) = 2,75\%$$

2). Duchas Eléctricas:

$$TIR = 2,5\% + 0,25\% \left(\frac{95,63}{95,63 + 76,55} \right) = 2,64\%$$

Entonces el TIR promedio mensual es de 2,7%, o lo mismo que sería tener un 32,4% TIR anual.

El promedio de los rendimientos futuros esperados de dicha tasa interna de retorno es aceptable, lo que implica la oportunidad para invertir en este proyecto, ya que:

$TIR > r$ (costo de oportunidad), $2,74 > 2,5$ se acepta el proyecto porque da una rentabilidad mayor que la mínima requerida.

6.8 Estudio del mercado potencial

Para determinar la factibilidad de implementar el sistema con todos los accesorios necesarios al mercado, el cliente será el principal elemento de estudio, nos permite determinar la cantidad de sistemas que la sociedad está dispuesta a adquirir en un tiempo determinado.

6.8.1 Alcance. La presente propuesta tiene un alcance de carácter nacional, propone a los ciudadanos una tecnología de abastecimiento por medios limpios y renovables y busca satisfacer las necesidades de energía del país. Consideramos que el sistema descrito ha demostrado una posibilidad real de lograr en forma sostenible una opción técnica y limpia de generación, razón por la cual el integra una alternativa en planes de vivienda y desarrollo.

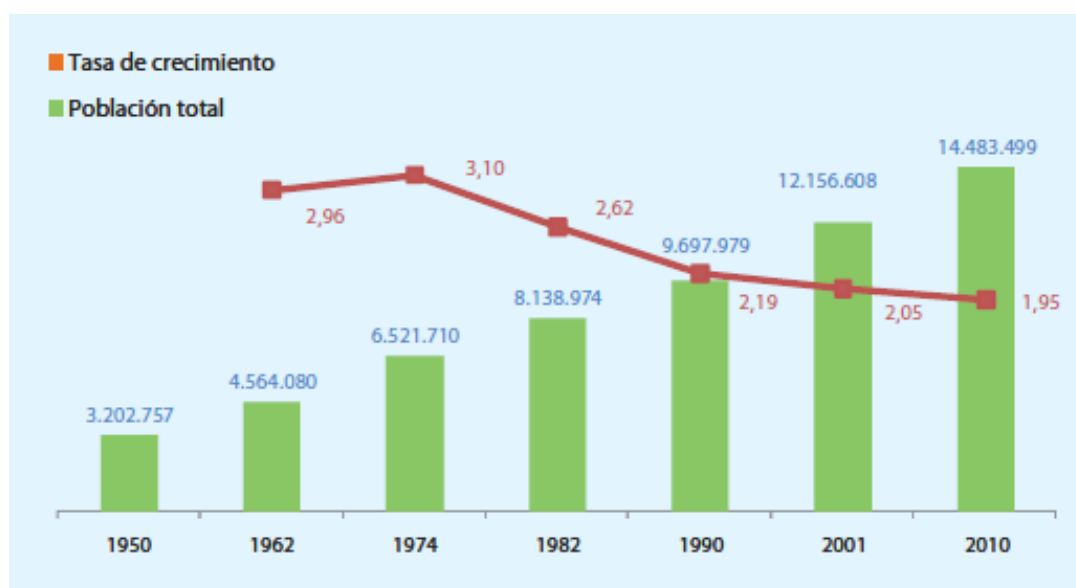
6.8.2 Proyección de mercado. Existe un mercado potencial para este tipo de proyectos, ya que en el país existe un déficit de explotación de recursos renovables. Mientras haya demanda por ACS y vivir en un ambiente confortable, los proyectos de este tipo tendrán clientes por ello, se tiene el mercado suficiente para iniciar una empresa.

Hay varios estudios de mercado en que se evalúa la posibilidad de integrar al sistema de calentamiento de agua para uso residencial y de acuerdo a varios estudios se determinó los siguientes puntos más relevantes de una muestra de 400 encuestados:

- El 100% de los encuestados estaría de acuerdo en adquirir colectores solares como medio de energía alternativa.
- El 100% de los encuestados considera importante el uso de energías alternativas.
- El 100% de los encuestados recomendaría el uso de los paneles solares.
- El 100% estaría dispuesto a evitar la contaminación mediante el uso de energía limpia.

Según el último censo realizado por el INEC en el año 2010 se muestra la tasa de crecimiento poblacional y tipo de vivienda e infraestructura. De acuerdo a estos datos podemos realizar una apreciación de mercado potencial en función del crecimiento poblacional y del tipo de estructura como de la demanda energética.

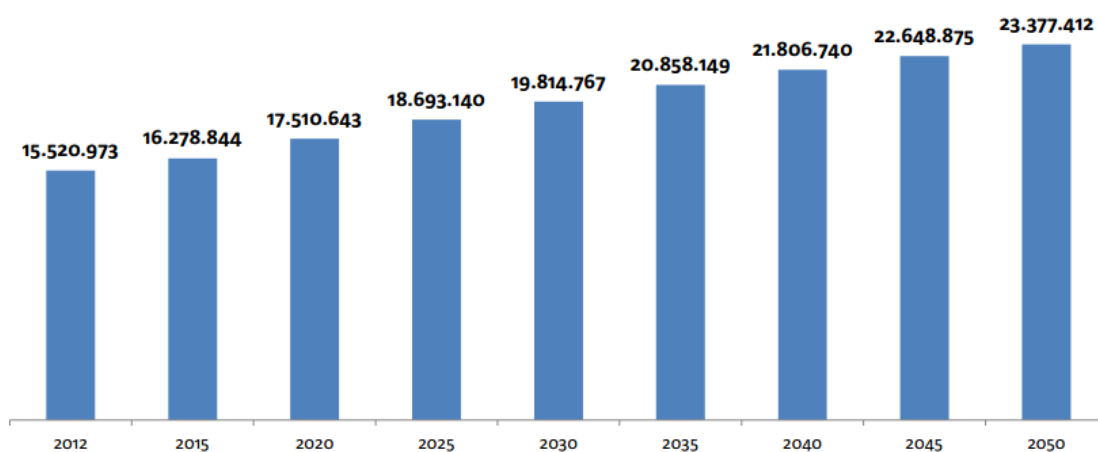
Figura 119. Población total y tasa de crecimiento (1950 - 2010).



Fuente: INEC

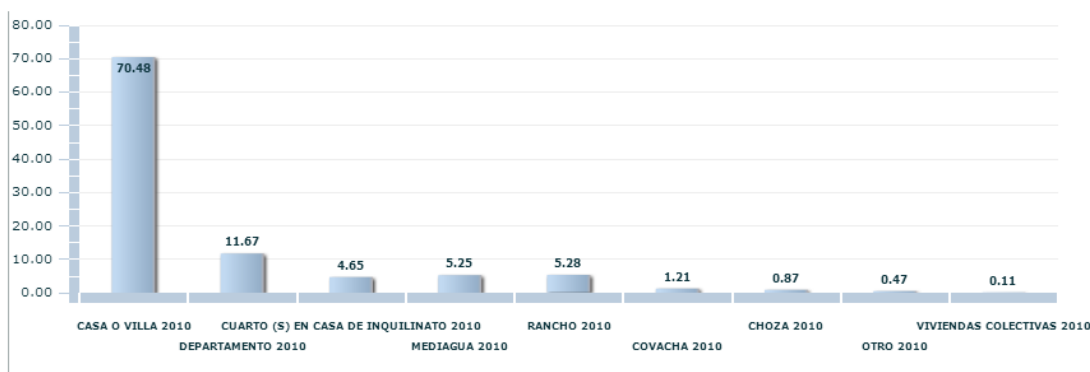
En el 2012 y según las proyecciones, Ecuador tiene 15,5 millones de habitantes, para el 2050 serán 23,4 millones de habitantes.

Figura 120. Tasa de crecimiento poblacional (2012 - 2050).



Fuente: INEC 2010

Figura 121. Porcentaje de viviendas y tipo de estructura en Ecuador.

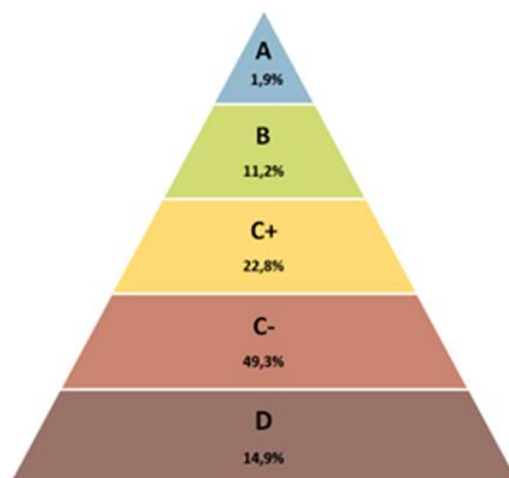


Fuente: INEC 2010

6.8.3 Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico. El INEC presentó la Encuesta de Estratificación del Nivel Socioeconómico, la misma que servirá para homologar las herramientas de estratificación, así como para una adecuada segmentación del mercado de consumo. Este estudio se realizó a 9.744 viviendas del área urbana de Quito, Guayaquil, Cuenca, Machala y Ambato.

La encuesta reflejó que los hogares de Ecuador se dividen en cinco estratos, el 1,9% de los hogares se encuentra en estrato A, el 11,2% en nivel B, el 22,8% en nivel C+, el 49,3% en estrato C- y el 14,9% en nivel D.

Figura 122. Clasificación socioeconómica de Ecuador.



Fuente: INEC

Para esta clasificación se utilizó un sistema de puntuación a las variables. Las características de la vivienda tienen un puntaje de 236 puntos, educación 171 puntos, características económicas 170 puntos, bienes 163 puntos, TIC's 161 puntos y hábitos de consumo 99 puntos.

Es fundamental conocer que esta estratificación no tiene nada que ver ni guarda relación con indicadores de pobreza o desigualdad. Son dos mecanismos, dos objetivos y dos metodologías distintas para clasificar a los hogares.

6.8.4 Resultado de indicadores en Ecuador. La gran mayoría de recursos naturales de todo el planeta dependen directa o indirectamente del sol, estos propician la aparición de las energías renovables. El Ecuador es un país que se encuentra privilegiado debido a su ubicación en el centro del planeta, la cual ha sido un factor decisivo para que el país presente una gran riqueza de recursos. La evaluación realizada a los recursos naturales disponibles en el Ecuador ha permitido determinar el gran potencial energético con que cuenta el Ecuador.

Este potencial energético permite determinar que todas las Energías Renovables son factibles de desarrollarse, unas en mayor medida, otras con más facilidad, algunas con mayores beneficios, pero todas son factibles de ser desarrolladas. A pesar de la factibilidad de desarrollar energías renovables, nuestro país presenta un retraso considerable, en energías renovables. Lamentablemente hablar de energías renovables en nuestro país es hablar de un tema desconocido, El potencial energético del país es enorme, actualmente incalculable e intangible. En base a la creciente demanda de energía y aumento de población y criterios analizados podemos decir que la implementación de este sistema esta direccionada a un sector Socioeconomico medio que aproximadamente es el 83,3% de los hogares en Ecuador resultados de la primera Estratificación del Nivel Socioeconómico realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y a más del 90% de Viviendas con infraestructura idónea para este tipo de instalación podemos concluir que es factible la implementación de este sistema.

CAPÍTULO VII

7.MANUAL DE INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

7.1 Objetivo

El objetivo de este Manual es el de servir como una herramienta de apoyo y consulta, para todas aquellas personas, técnicos, o personal de mantenimiento que están vinculados a las instalaciones de colectores solares, a fin de mejorar la situación actual de implementación de estas instalaciones en la edificación sin que se suponga un incremento sustancial del coste de las mismas

7.2 Generalidades

Las instalaciones de aprovechamiento de energía solar son de aspecto innovador puesto que representan arreglos muy especiales y diferentes respecto a las instalaciones convencionales para el calentamiento de agua. Hoy en día, las instalaciones solares se deben realizar con la experiencia de técnicos y profesionales, aplicando información recabada en la práctica y al mismo tiempo adoptando información y datos experimentales de otros países. Consecuentemente, los requerimientos mínimos para los nuevos establecimientos son dirigidos para procurar el correcto funcionamiento de las instalaciones como una muestra clara de instalaciones energéticamente eficientes, confiables y seguras. Dichos requerimientos deben contemplar aspectos fundamentales que redunden en beneficio directo de la inversión de los usuarios, el correcto funcionamiento de los sistemas y que no deterioren la imagen de las bondades que encierra el uso de las energías renovables, tales como: la orientación de los colectores para lograr un aprovechamiento adecuado, el cálculo hidráulico, el aislamiento en tuberías, válvulas y accesorios, protección contra la congelación, controles automáticos, requerimientos de un manual de operación así como los requerimientos mínimos de la garantía.

7.3Criterios básicos de instalación

7.3.1*Orientación e inclinación de colectores solares*

7.3.1.1*Determinación del sur geográfico*

Con el objeto de obtener la mayor cantidad de irradiación solar, los colectores solares se deben orientar e inclinar hacia el Sur Geográfico, también llamado Sur Verdadero (SV), y es importante no confundirlo con el Sur magnético (SM). Se debe tener en cuenta que existe la declinación magnética y que ésta varía en cada lugar y con el tiempo, debido a que el Norte magnético de la tierra está en movimiento y no coincide con el Norte geográfico (NV).

7.3.1.2 *Inclinación adecuada*

Se deberá obtener el perfil del consumo mensual de agua caliente a lo largo del año para el establecimiento en cuestión, con el objeto de identificar la época del año de máxima demanda y en función de esto inclinar los colectores adecuadamente. Considerando que si se inclinan los colectores con un ángulo igual a la latitud del lugar, obtendremos la máxima eficiencia promedio anual. Si aumentamos el ángulo se obtendrá la máxima eficiencia durante el invierno y si lo inclinamos con un ángulo menor a la latitud del lugar se obtendrá la máxima eficiencia en verano.

7.3.2 *Desviación máxima del sur verdadero con respecto a la orientación e inclinación*

En la figura 7.1 del anexo 1, se muestra como varía el porcentaje de irradiación solar recibida por el área del colector solar, si se modifica su orientación e inclinación. En ocasiones la arquitectura de las construcciones o la geometría del área disponible para instalar los colectores solares no permiten orientarlos, estrictamente hacia el SV y tampoco es posible inclinarlos con el ángulo adecuado. En este sentido se podrán instalar los colectores solares desviados del SV e inclinados con un ángulo diferente al óptimo, de acuerdo a las siguientes restricciones.

- Se puede variar la orientación e inclinación del colector solar, de tal forma que la pérdida de irradiación solar incidente en su superficie no rebase el 8% del valor máximo captado a su ubicación ideal. Anexo 1.
- Se debe tener en cuenta que la eficiencia de los colectores solares es mejor en la tarde debido a que la temperatura ambiente es mayor que en la mañana, por lo que si se debe de decidir entre una orientación S-SE contra una S-SO se preferirá la S-SO

- Los colectores solares con cubierta y los colectores plásticos, con aletas o lisos para fines de auto limpieza y la no acumulación de polvo y/o lodos, deberán inclinarse al menos con un ángulo de 15° con respecto a la horizontal. En este sentido se permitirá que los colectores de plástico de geometría de tubos de transferencia redondos se instalen de manera horizontal, debido a que carecen de este problema de acumulación de polvos.
- En caso de que al ubicar los colectores solares en espacios reducidos, queden sombreados por la construcción o árboles grandes, esta sombra no deberá ser tal que las pérdidas de energía evaluadas en los meses de afectación sobrepase el 10% del total en los meses de referencia.

7.3.3 Fijación

El anclaje a la azotea o área destinada al conjunto de colectores solares debe diseñarse para soportar ráfagas de viento de 27,78m/s (100 Km/h). En caso de utilizarse estructuras metálicas para el soporte de los colectores solares, éstas deberán pintarse con un esmalte anticorrosivo para proteger su integridad. En todos los casos se deberán sellar adecuadamente las perforaciones hechas en las azoteas para no perjudicar la impermeabilización.

7.3.4 Colectores solares

- La fijación a una estructura metálica debe de hacerse en la parte estructuralmente más resistente del colector solar. No se permitirá soportar los colectores en los cabezales, salvo en el caso de los absorbedores de plástico para calefacción de albercas.
- En el caso de colectores solares plásticos para alberca la fijación debe diseñarse para permitir la dilatación y contracción por cambios en su temperatura, pero deben de cumplir con la condición de soportar ráfagas de viento de una velocidad de 27.78 m/s. Para tal objeto deben de fijarse a perfiles metálicos tubulares paralelos a sus cabezales, con un cabezal fijo y otro con banda elástica que permita el movimiento por cambios de temperatura. No se permiten anclajes exclusivamente con alambres.
- En ningún caso se permitirá una instalación sin el anclaje adecuado.

7.3.5 Tuberías

Debe de anclarse cuando menos cada 2 metros con abrazaderas. En tramos aéreos horizontales esta distancia será tal que impida que la deflexión de la tubería sea superior a 1.0 cm , considerando una temperatura de estancamiento del conjunto de colectores o absorbedores solares instalado, permitiéndose el uso de abrazaderas tipo uña en tramos horizontales y en verticales con una altura no mayor a 3 metros. En tramos verticales cuando el peso de la tubería y el agua sean considerable mayor que 50 kg se debe considerar un anclaje del tipo uní canal.

Las tuberías hidráulicas deberán instalarse de tal manera que se puedan eliminar las roturas y daños debidos a los esfuerzos que acompañan los desplazamientos normales causados por la contracción-expansión de los tubos por efecto de cambios de temperatura. Cuando se requieran, deberán colocarse “Loops” de Expansión horizontales o Juntas de Expansión en las secciones apropiadas de las líneas.

Cuando las tuberías atraviesen muros o cimentaciones se deberá dejar libertad de movimiento mediante chaquetas de tubería de acero cuyo diámetro sea dos veces mayor al tubo que se desea proteger, o bien se deberán construir arcos de cemento sobre el tubo. El espacio libre entre las chaquetas o los arcos de cemento y la tubería se deberá rellenar de algún material sellador flexible.

Para tuberías enterradas se deberá abrir una zanja y colocar la tubería rodeada ya sea de arena o tierra fina sin piedras. Se deberá colocar cuando menos 20 centímetros de relleno alrededor de la tubería y compactar cuidadosamente.

7.3.6 Cálculo hidráulico y arreglos modulares

Desde el punto de vista hidráulico, para obtener la máxima eficiencia del conjunto de absorbedores o colectores solares, se deben de cumplir con las siguientes condiciones,

- El sistema hidráulico debe permitir un flujo de agua igual en cada colector solar del conjunto, con los diámetros y bomba de recirculación seleccionadas de acuerdo a cálculos realizados.
- Los recorridos de las tuberías deberán estar óptimamente diseñados para tener el recorrido mínimo y lo más recto posible, evitando así las pérdidas de calor y pérdidas por fricción, y al mismo tiempo, minimizando el consumo de energía eléctrica en la bomba de recirculación.

- El cálculo de los diámetros de la tubería de toda la red hidráulica se basará en el flujo nominal especificado por el fabricante del colector solar o, en su caso, con el valor mínimo establecido en esta en cálculos o normas usando el valor mayor que resulte de las dos alternativas.

7.3.7*Sistemas de agua caliente por termosifón*

- Se deberá aislar térmicamente toda la red de tuberías que conectan al colector solar con el o los colectores solares, tanto de agua caliente. De igual forma deberá aislarse la tubería que lleva el agua caliente del colector solar al calentador auxiliar o a la entrada a todos los ramales de agua caliente. Solamente podrá quedar sin aislar la entrada de agua fría al colector solar.
- Se deberá emplear una válvula check para evitar el retorno al colector solar.
- La tubería que conecta el o los colectores solares deberá ir ascendiendo hasta llegar al termo y deberá ser lo más corta posible.
- El termo deberá contener un jarro de aire o bien una válvula eliminadora de aire en la parte más alta. Así como una válvula de alivio.
- Para sistema tipo termosifón el límite máximo debe ser de 15 m² de colectores solares, debido a que los sistemas por circulación forzada son más eficientes.

7.3.8*Tanque acumulador de almacenamiento de agua caliente*

- Los tanques acumuladores deberán tener difusores en la entrada del agua fría de alimentación, para reducir la velocidad y no romper la estratificación de temperaturas. Dichos difusores deben estar en la parte inferior del termo tanque.
- La salida de agua fría a colectores solares deberá estar en la parte baja del termo tanque, dejando solo un pequeño espacio para la acumulación de lodos.
- En la parte más baja del termo debe de instalarse una válvula que permita drenar periódicamente los lodos.
- Los tanques acumuladores en el caso de no estar aislados deberán aislarse térmicamente para no perder más del 10% de la energía captada por el conjunto de colectores solares. Se deberá seleccionar el aislante térmico conforme a los conceptos de diámetro crítico de aislante. Cuando se instalen en el exterior deberán

tener una barrera que impida la degradación del aislamiento así como la entrada de humedad.

- En caso de que los tanques de los termos solares sea de acero al carbón, estos deberán estar protegidos internamente contra la corrosión por pintura epóxica o un acabado vidriado y protegido también con ánodo de sacrificio de magnesio.

7.3.9*Diámetros mínimos de tuberías*

- Las tuberías principales y ramales se deben dimensionar para que la caída de presión por fricción no sea mayor a 40 mm de columna de agua y que la velocidad del fluido sea mayor a 0,3 m/s y menor a 2 m/s.
- Cuando el agua tiene un valor de PH inferior a 6,9 y puede ser clasificada como agresivamente corrosiva o cuando el agua ha sido suavizada a dureza cero por medio de un suavizador, la velocidad máxima no debe ser mayor que 1,2m/s.

7.3.10*Dimensionamiento de la bomba*

- La selección y cálculo de la potencia de la bomba se deberá realizar conociendo el flujo total de agua requerido por todos los colectores solares y la Carga Dinámica Total (CDT) de la red hidráulica, con ayuda de las curvas características proporcionadas por el fabricante de bombas.
- El cálculo de la Carga Dinámica Total de la red hidráulica se hará mediante el cálculo por separado de las pérdidas en las tuberías y accesorios, en cada uno de los circuitos paralelos con su carga estática (altura del equipo solar más alto o bien el punto más alto de la red de tuberías) y se tomará el más desfavorable (la carga dinámica total mayor).

7.3.11*Aislamiento de tuberías*

En los sistemas de circulación forzada para calentamiento de agua con energía solar para servicios diversos (regaderas, lavabos, etc.) las pérdidas de calor en tuberías representan un porcentaje alto de la energía captada por el conjunto de colectores solares, por lo que es necesario aislarla térmicamente.

7.3.12 *Aislamiento mínimo requerido*

El tipo de aislamiento térmico a instalar deberá ser tal que sus materiales aislantes así como sus espesores, no representen más del 10% de la energía captada por el conjunto de colectores solares, debiéndose incluir en el cálculo de dimensionamiento del sistema un análisis detallado de todos los ramales del sistema.

7.3.13 *Requerimientos*

Los materiales empleados como aislantes térmicos deberán resistir sin sufrir degradación, la temperatura de estancamiento del colector solar, considerando la irradiación solar y temperatura ambiente más altas del año.

7.3.14 *Válvulas y accesorios*

Es frecuente utilizar las mismas válvulas empleadas en instalaciones similares y básicamente deben de seleccionarse de acuerdo a las condiciones de presión y temperaturas máximas que pueda tener el sistema.

Se deben instalar válvulas de esfera en la entrada y salida de cada batería de colectores solares, para poder confinarlos del resto del sistema y repararlos en caso necesario.

7.3.15 *Válvulas eliminadoras de aire*

Deberán de instalarse en las partes más altas de la tubería o colectores solares donde se requiera eliminar el aire y evitar así la posibilidad de reducir la sección transversal de las tuberías por bolsas de aire. Estas deben de soportar las temperaturas de estancamiento más severas. En cada punto donde se requiera instalar una válvula eliminadora de aire de manera paralela deberá instalarse una válvula manual de purga.

7.3.16 *Válvulas de drenado*

Los termos solares de almacenamiento deberán tener en la parte inferior una válvula de esfera de cuando menos 1,25 cm de diámetro, para poder evacuar lodos o vaciarlos en forma periódica.

7.3.17 *Válvulas de alivio*

En el tanque del colector solar se debe tener una válvula de alivio, graduada al valor de la presión máxima que soporte el colector solar instalado.

7.3.18 *Válvulas check*

Deberán de emplearse para evitar la circulación inversa en sistemas de circulación forzada, se recomienda el uso de válvulas check tipo columpio.

7.3.19 *Controles automáticos y medidores*

Los controles automáticos sirven para hacer más eficiente el proceso de captación solar, en ningún caso se permitirá un control manual para arrancar y parar una bomba de recirculación.

Los medidores de flujo o temperatura sirven para evaluar de manera rápida un valor aproximado de cómo se comporta el sistema.

7.3.20 *Controles electrónicos diferenciales*

Se deben utilizar controles electrónicos diferenciales que arranquen y paren la bomba en el caso de albercas, o el recirculador en sistemas por circulación forzada. Tienen dos sensores de temperatura, uno se coloca en la parte superior de los colectores solares y el otro se para detectar la temperatura del agua a calentar se coloca en la parte inferior del termo solar de almacenamiento, en el caso de circulación forzada o bien en la descarga de la bomba del filtro en el caso de las albercas.

7.3.21 *Requerimientos mínimos de las especificaciones de los colectores solares*

- A.- Materiales de fabricación
- B.- Dimensiones del colector solar (largo, ancho y área útil)
- C.- Peso vacío
- D.- Peso lleno
- E.- Temperaturas límite
- F.- Temperatura de deformación (para colectores de plástico)
- G.- Flujo recomendado
- H.- Presión máxima de operación
- I.- Presión de prueba
- J.- Ecuación de eficiencia

7.4 Mantenimiento

El mantenimiento del sistema es sencillo e incluye las tareas siguientes:

- Limpieza: conviene limpiar periódicamente los tubos (depende de la lluvia, el polvo, la contaminación del lugar donde se ubique el calentador solar). Esta acción se puede realizar con un paño suave y agua caliente o se pueden limpiar con una solución jabonosa tallando con cuidado, estas recomendaciones se deben seguir siempre en horas de poca insolación, ya sea temprano o en la tarde, cuando el Sol ya se está ocultando. Si el acceso a los tubos no es fácil, un regaderazo de agua a presión es también eficaz.
- Aislamiento: los tubos del sistema hidráulico, cercanos al colector solar, deben tener un buen aislamiento térmico; este aislamiento debería ser comprobado cada año o cuando presente daño. Como aislamiento se deben usar espumas estabilizadas contra UV o cubiertas metálicas para evitar un rápido deterioro.
- Drenaje del colector: Puede requerirse el drenaje de los tubos de vacío y del tanque acumulador para el mantenimiento programado, desplazamiento del colector o en la reparación para condiciones sumamente frías. Este drenado del sistema en general se recomienda cada 12 meses, en el cual se verifica la acumulación de lodos o la suciedad depositada en el fondo de los tubos de vacío o en el tanque acumulador. Para hacer la limpieza en los tubos de vacío se deben de desinstalar con cuidado para lavarlos internamente, se agrega una solución espumosa (se debe de agregar poco jabón líquido al agua y agitar hasta que se disuelva en el agua completamente, teniendo una consistencia muy espumosa) o agua avinagrada, enjuagarlos muy bien y volver a instalarlos. Para la limpieza del tanque acumulador, que se recomienda hacer junto con la limpieza de los tubos de vacío, se debe cerrar la entrada de agua fría y esperar a que el nivel baje, posteriormente cerrar la salida de agua caliente del tanque acumulador, abrir la válvula de drenado, válvula de bola, y esperar a que se vacíe. Si es necesario enjuagar el tanque acumulador, se cierra la válvula de drenado y se abre la válvula de entrada de agua fría; se deja llenar un cierto nivel, se cierra la válvula de entrada y se abre la válvula de drenado para que se enjuague el tanque acumulador. Si no es necesario enjuagar el tanque acumulador se cierra perfectamente la válvula de drenado. Después se instalan los tubos de vacío y por

ningún motivo se llena el colector solar, hasta que los tubos estén fríos. No seguir estas indicaciones puede provocar un choque térmico en los tubos y la rotura de los mismos, perdiendo la garantía del equipo.

7.4.1 Resolución de problemas

Tabla 57. Resolución de problemas.

Problema correctiva	Causa	Acción correctiva
No sale agua de la llave	La entrada de agua fría al termotanque o la salida de agua caliente del termotanque está obstruida por un tapón de sedimentos.	Limpiar la tubería y quitar el tapón de sedimento acumulado en la entrada y salida del termotanque.
	No hay suministro de agua fría al calentador solar desde el tinaco o la red municipal.	Verificar que exista suministro de agua al calentador solar desde el tinaco o la red de agua municipal.
	La válvula de entrada de agua fría al termotanque está cerrada.	Abrir la válvula.
	El brazo del flotador en el vaso de llenado se ha atascado.	Desatascar el brazo del flotador del vaso de llenado o reemplazarlo, accediendo a él por la tapa superior.
	La válvula anti-retorno se ha atascado.	Limpiar la válvula antiretorno o reemplazarla.
	Hay aire atrapado en la tubería de agua fría o caliente	Abrir la válvula de drenado en el termotanque, hasta que salga el aire de la tubería y llenar nuevamente el termotanque, o abrir todas las llaves de agua en la casa hasta que salga todo el aire de la tubería.
No sale agua caliente del calentador solar	El calentador de agua solar no está recibiendo suficiente luz solar.	Verificar la ubicación del calentador, que no le de sombra, que la ubicación sea la adecuada (sur).
	Exceso de consumo de agua caliente.	Planificar el consumo de agua caliente de acuerdo a la capacidad diseñada, si su consumo es elevado instalar un sistema de respaldo con boiler de paso.
	La conexión incorrecta de agua fría y agua caliente a las tuberías del calentador de agua solar tanque de almacenamiento.	Acoratar la línea de tuberías de agua caliente o aumentar la capacidad del sistema.
	Días nublados, la luz solar no es suficiente.	Utilizar el sistema de respaldo.
	El agua caliente está regresando al tinaco, la válvula antiretorno falló, o no se cuenta con válvula antiretorno a la entrada de agua fría.	Verificar la adecuada instalación de la válvula antiretorno, o instalar válvula antiretorno si no cuenta el sistema con ella.
	La presión en la entrada de agua fría al calentador es muy grande para poder calentar el agua adecuadamente.	Circular agua caliente lentamente al principio y luego poco a poco abrir el grifo de agua fría para una óptima mezcla de agua caliente y fría en el punto de uso.
Flujo irregular de agua caliente.	El jarro de aire del termotanque está parcialmente obstruido.	Limpiar la salida del jarro de aire.
	La vena de salida de agua caliente está obstruida	Retire la vena de salida de agua caliente y limpiar de las impurezas que pudieran obstruir su funcionamiento.

Fuente: Autores

CAPÍTULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

El empleo del sistema propuesto para viviendas unifamiliares es una alternativa viable en cuanto a su diseño y construcción, cumpliendo toda la normativa aplicable y ofreciendo, para el caso que nos ocupa y la zona geográfica concreta, un buen rendimiento.

El estudio ambiental confirma la evidencia del gran ahorro de emisiones de CO₂ al utilizar energía solar frente a los combustibles fósiles, sumando otro aspecto favorable en la valoración global de este proyecto.

Se concluye que la investigación realizada cumple con las expectativas tanto económicas como ambientales, siendo el mismo una forma de impulsar las energías renovables sobre las convencionales ayudando así a evitar la contaminación del planeta.

A través de este estudio se ofrece una alternativa para la eliminación del subsidio de gas y electricidad en el Ecuador permitiendo un ahorro para el estado y el individuo en general así como un enorme beneficio en el sector social, económico, ambiental entre otros.

De las pruebas realizadas se concluye que el sistema auxiliar refuerza el sistema por colector solar permitiendo un mayor rendimiento y respuesta logrando integrar un sistema más acorde con las nuevas políticas de eficiencia energética.

El sistema de control eléctrico implementado permite automatizar el proceso logrando un control más exacto a comparación de otros sistemas.

El kit solar permite integrar tanto las energías renovables en este caso energía solar con las energías no renovables como el caso del calefón reduciendo en un 90,92% el uso del calefón por GLP integrando el concepto de sustentabilidad al sistema propuesto.

8.2 Recomendaciones

Sería recomendable la intervención de entes gubernamentales con proyectos y programas que logren su rápida utilización en los hogares, comercios e industrias, y de esta manera compensar la dificultad que ocasiona la competencia desleal de las subvenciones a los combustibles fósiles.

El sistema propuesto garantiza los estándares de funcionamiento para calentamiento de agua en una vivienda, pero también puede tomarse como punto de partida para una instalación mayor que incorpore otros sistemas para dotarla de un mayor confort. Sistemas como la calefacción y la climatización pueden ser también diseñados para funcionar con energía limpia, aprovechando además parte de la instalación que se ha diseñado en este proyecto.

Todas las conexiones de agua caliente deben estar ajustadas correctamente y aisladas para evitar que se produzcan pérdidas de calor igualmente minimizar las longitudes de estas.

Cuando se realice instalaciones de aparatos para calentamiento de agua (calefones o calderos) referirse a normas nacionales y extranjeras actualizadas.

En lo posible, se recomienda no usar tubería de hierro galvanizado para instalaciones domésticas ya que por ser más corrosivas, por efecto de oxidación, afectarían principalmente a la salud de los usuarios y de los equipos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Centro Ecuatoriano de derecho ambiental, hacia una matriz energética diversificada en Ecuador, pág. 20
- [2] Centro Ecuatoriano de derecho ambiental, hacia una matriz energética diversificada en Ecuador, pág. 21
- [3] Centro Ecuatoriano de derecho ambiental, hacia una matriz energética diversificada en Ecuador, pág. 23
- [3] Centro Ecuatoriano de derecho ambiental, hacia una matriz energética diversificada en Ecuador
- [4] Centro Ecuatoriano de derecho ambiental, hacia una matriz energética diversificada en Ecuador, pág. 60
- [5] Centro Ecuatoriano de derecho ambiental, hacia una matriz energética diversificada en Ecuador, pág. 61
- [6] <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/pdf>
- [7] <http://www.inec.gob.ec/estadisticas>
- [8] <http://www.inec.gob.ec/inec/index.php>
- [9] <http://www.inec.gob.ec/estadisticas>
- [10] <http://www.energia.gob.ec/biblioteca/pdf>
- [11] <http://www.monografias.com/trabajos-pdf4/redes-electricas/redes-electricas.pdf>
- [12] Plan maestro de electrificación 2012- 2021, pág. 96
- [13] Plan maestro de electrificación 2012- 2021, pág. 96
- [14] Plan maestro de electrificación 2012- 2021, pág. 64
- [15] <http://www.cimeg.org.ec/normas/nec/nec2011-cap.14-energias/renovables-021412.pdf>

- [16] <http://www.cecua.es/campanas/medio%20ambiente/htm/3%20solar%20termica.htm>
- [17] <http://www.boschecuador.com/portal/html/gallery/Tecnova/Manual-Calefones-Bosch-Confort-10-5-17-4-22-7kw-de-tiro-natural.pdf>
- [18] GEMMA VÁZQUEZ ARENAS. Instalaciones de ACS. Área de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Cartagena. pp. 100, pág. 121
- [19] <http://www.boschecuador.com/portal/html/gallery/Tecnova/Manual-Calefones-Bosch-Compact-2-27-9kw-automodulante-de-tiro-natural.pdf>
- [20] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 187:99. Calentadores de agua a gas para uso doméstico. Requisitos e inspección. Primera Edición
- [21] BOSCH. Kit Solar. Catalogo 2012
- [22] JIMMY PESÁNTEZ ENCALADA. Reducción de costos en el calentamiento de agua en Ecuador, a través de la sustitución de calefones con uso de GLP por sistemas de energía solar térmica. Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). La Libertad – Ecuador, pág. 1
- [23] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2333:2002. Instaladores y empresas instaladoras de gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial e industrial
- [24] NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2260:2001. Instaladores para gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial e industrial
- [25] GEMMA VÁZQUEZ ARENAS. Instalaciones de ACS. Área de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Cartagena. pp. 100, pág. 7
- [26] EU SOLAR. Colector solar 200 lt capacidad 20 tubos al vacío termosifón. Catalogo 2012
- [27] <http://www.profesormolina.com.ar/mismaterias/instalaciones/manuales/saladillo>
- [28] DAVID FUENTES CANTERO. Instalación de colectores solares para suministro de ACS en Valencia. pp. 94

- [27] <http://www.publicaciones.urbe.edu/index.php/REDHECS/article/viewArticle/615>
- [28] GISELA QUERO SÁNCHEZ. Diseño de un sistema de captación de energía solar térmica para la producción de ACS en un edificio de viviendas. Universidad Politécnica de Cataluña. pp. 12-15
- [29] JOSÉ BLAS RICO GÓMEZ. Abastecimiento eléctrico y de agua caliente sanitaria de una finca rústica mediante energía solar. Departamento de ingeniería térmica y de fluidos
- [30] JIMMY PESÁNTEZ ENCALADA. Reducción de costos en el calentamiento de agua en Ecuador, a través de la sustitución de calefones con uso de GLP por sistemas de energía solar térmica. Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). La Libertad – Ecuador, pág. 1

BIBLIOGRAFÍA

- ACOSTA Alberto, Breve historia del Ecuador, Corporación Editora Nacional, segunda edición, Quito, 2006.
- ASHRAE. Manual de Climatización. USA, 2000.
- BOSCH. Kit Solar. Catalogo 2012.
- DANIELS, Farrington. Uso de la Energía Solar. México: Baume, 1980CTE Código Técnico de la Edificación. Ministerio de la Vivienda. Marzo 2006.
- DAVID FUENTES CANTERO. Instalación de colectores solares para suministro de ACS en Valencia. pp. 2011.
- EU SOLAR. Colector solar 200 lt capacidad 20 tubos al vacío termosifón. Catalogo 2012.
- FOSTER, Arthur. Energía Solar. Método de Cálculo de Colectores Solares. Quito: EPN., 1980.
- GEMMA VÁZQUEZ ARENAS. Instalaciones de ACS. Área de Construcciones Arquitectónicas. Universidad Politécnica de Cartagena. pp. 100 , 2009.
- GISELA QUERO SÁNCHEZ. Diseño de un sistema de captación de energía solar térmica para la producción de ACS en un edificio de viviendas. Universidad Politécnica de Cataluña. pp. 12-15. 2008.
- JIMMY PESÁNTEZ ENCALADA. Reducción de costos en el calentamiento de agua en Ecuador, a través de la sustitución de calefones con uso de GLP por sistemas de energía solar térmica. Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE). La Libertad – Ecuador, 2011.
- LUSZCZEWSKI, A. Redes Industriales de Tuberías, Bombas para Agua, Ventiladores y Compresores. España. Reverté, 1999.
- MANRIQUE, José A.- G.- Energía Solar. Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas. México: Harla S.A., 2000.

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y FINANZAS DEL ECUADOR, Presentación de la proforma presupuestaria del gobierno central 2008, Quito, 2008.

MINISTERIO DE ELECTRICIDAD.- Ecuador. Publicaciones periódicas. Quito – Ecuador, 2008.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2 187:99. Calentadores de agua a gas para uso doméstico. Requisitos e inspección. Primera Edición, 2011.

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2333:2002. Instaladores y empresas instaladoras de gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial e industrial

NORMA TÉCNICA ECUATORIANA NTE INEN 2260:2001. Instaladores para gas combustible en edificaciones de uso residencial, comercial e industrial

SANTILLÁN, Rodolfo. Fuentes Alternas de Energía, Energía Solar. Riobamba - Ecuador: ESPOCH, 2000.

SCHAUM, P. Mecánica de Fluidos e Hidráulica. España: McGraw-Hill, 2005.

TARQUIN, Anthony. Ingeniería Económica. 6ta. Ed. México: McGraw-Hill., 2006.

VIZUETE, Luis y otro. Diseño de Colectores Solares para el Hotel Manabí. Tesis de Grado. Riobamba-Ecuador, 1998.

LINKOGRAFÍA

ENERGÍA SOLAR

<http://www.solarviews.com/span/sun.htm#intro>

2012-09-20

RADIACIÓN SOLAR

http://es.wikipedia.org/wiki/Radiaci%C3%B3n_electromagn%C3%A9tica

2011-03-07

ENERGÍA SOLAR TÉRMICA. PROYECTO RES & RUE DISSEMINATION. ENERGÍAS LIMPIAS

<http://www.cecua.es/campanas/medio%20ambiente/res&rue/htm/dossier/3%20solar%20termica.htm>

2012-05-23

CATÁLOGOS DE PRODUCTOS BOSCH 2012

<http://www.boschecuador.com/portal/html/gallery/Tecnova/Manual-Calefones-Bosch-Confort-10-5-17-4-22-7kw-de-tiro-natural.pdf>

2012-08-07

DEMANDA ENERGÉTICA

<http://www.instalacionenergiasolar.com/termica/>

<http://www.energy-spain.com/energia-solar/animacion-energia-solar>

<http://www.terra.org/articulos/art01822.html>

<http://www.textoscientificos.com/energia>

<http://tonto.eia.doe.gov/abouteia>

http://www.bce.fin.ec/documentos/Publicaciones_notas/Catalogo/Mensual

http://www.petrocomercial.com/wps/portal/!ut/p/c1/04_SB8K8xLLM9

<http://www.bce.fin.ec/docs>

<http://www.conelec.gob.ec/indicadores/>, visitado el 20 de septiembre de 2011.

http://www.meer.gov.ec/Meer/portal_meer/newsListView.htm?code=607&template=meer.news

2012-10-05

SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL

<http://www.publicaciones.urbe.edu/index.php/REDHECS/article/viewArticle/615/1563>

2012-11-03

SISTEMAS PARA EL CALENTAMIENTO DE AGUA DE USO DOMESTICO

<http://www.meer.gov.ec>

<http://www.conelec.gov.ec>

<http://www.energia.org.ec>

<http://www.inen.gob.ec/>

<http://www.recursoSNaturales.gob.ec/>

2012-01-05